



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт геологии
Дагестанского научного центра

ISSN: 2541-9684

№ 3 (78), 2019
Ежеквартальный
научный журнал

"ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ
ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН"

Издается по решению Ученого совета Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи
Института геологии ДНЦ РАН и массовых коммуникаций Российской Федерации (Роскомнадзор)
Журнал выходит 4 раза в год. ПИ № ФС77-67725 от 10 ноября 2016 года

Научно-редакционный совет:

д.т.н., ИПГ ДНЦ РАН,
академик РАН, Коми НЦ УрО РАН
д.г.-м.н., г.н.с., профессор ЮРГПУ (НПИ)
д.г.-м.н., г.н.с., профессор ГИН РАН
академик РАН, ОНЗ РАН
д.г.-м.н., профессор ИГиГ НАН Азербайджана
д.ф.-м.н., профессор, Геофизический институт ВНЦ РАН,
д.г.-м.н., профессор, ИГиИС НАН Армении
министр природных ресурсов и экологии РД
д.ф.-м.н., Чеченской академии наук
член-корреспондент РАН, ОНЗ РАН
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ
академик РАН
академик РАН, ГИН РАН
д.т.н., д.э.н., профессор
член-корреспондент НАН Азербайджана

Редакционная коллегия:

д.г.-м.н., г.н.с.

к.т.н., с.н.с.

д.т.н., г.н.с.

к.ф.-м.н., с.н.с.

д.т.н., профессор

д.т.н., профессор

д.ф.-м.н., профессор

к.г.-м.н., с.н.с.

д.г.-м.н., г.н.с.

д.б.н., г.н.с., профессор

к.ф.-м.н.

д.ф.-м.н., в.н.с.

к.г.н., с.н.с.

д.ф.-м.н., профессор

к.г.-м.н., с.н.с., (технический редактор)

д.г.-м.н., г.н.с., профессор

к.г.-м.н., с.н.с.

к.ф.-м.н.

к.г.-м.н.

д.т.н., г.н.с., профессор

к.г.-м.н.

к.ф.-м.н., доцент

н.с., (ответственный секретарь)

н.с., (составитель)

Алхасов А.Б.
Асхабов А.М.
Богущ И.А.
Гаврилов Ю.О.
Глико А.О.
Гусейнов Д.Д.
Зааливили В.Б.
Карапетян Д.К.
Карачаев Н.А.
Керимов И.А.
Морозов Ю.А.
Рабаданов М.Х.
Рундквист Д.В.
Федонкин М.А.
Чагучиев М.Ч.
Алиева Э.Г.-М.

Черкашин В.И.
(главный редактор)

Мамаев С.А.

(зам. главного редактора)

Абдуллаев Ш.-С.О.

Алиев И.А.

Ахмедов Г.Я.

Ахмедов С.А.

Ашурбеков Н.А.

Газалиев И.М.

Гусейнов А.А.

Залибеков З.Г.

Ибаев Ж.Г.

Идармачев Ш.Г.

Идрисов И.А.

Курбанисмаилов В.С.

Магомедов Р.А.

Маммаев О.А.

Мацапулин В.У.

Таймазов Д.Г.

Темирбекова У.Т.

Тотурбиев Б.Д.

Юсупов А.Р.

Якубов А.З.

Гусейнова А.Ш.

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»

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>

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ Г. ГРОЗНЫЙ <i>Керимов И.А., Гайсумов М.Я.</i>	4
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ <i>Мамаев С.А., Дорофеев В.М., Абдулатипов А.М., Мамаев А.С.</i>	17
БИОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАССЕЙНОВ ДАГЕСТАНА В НИЖНЕМЕЛОВУЮ ЭПОХУ <i>Исаева Н.А.</i>	29
ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЙБУК-ХАРБУКСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕЙ ЮРЫ В РАЗРЕЗЕ ОДНОИМЕННОЙ АНТИКЛИНАЛИ <i>Магомедов Р.А.</i>	34
О ПЕРСПЕКТИВАХ ВНЕДРЕНИЯ В ДАГЕСТАНЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ <i>Таймазов Д.Г.</i>	45
ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ НА ПЛОТИНЕ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС СО СДВИГАМИ ПО УРОВНЮ И ПЕРЕРЫВАМИ В РЯДАХ НАБЛЮДЕНИЙ <i>Децеровский А.В., Идармачев Ш.Г., Марченко М.Н.</i>	52
СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА И СМЕЖНЫХ РАЙОНОВ ЗА 2017 г. <i>Асманов О.А., Асекова З.О.</i>	63
ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ДАГЕСТАНА И СМЕЖНЫХ РАЙОНОВ ЗА 2018 ГОД <i>Асманов О.А., Асекова З.О.</i>	70
ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ОБХОДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПЛОТИНЫ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС <i>Идармачев И.Ш., Марченко М.Н.</i>	75
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭОЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДАГЕСТАНЕ <i>Тулышева Е.В., Мацапулин В.У., Исаков С.И.</i>	81
СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ДАГЕСТАНСКОГО СЕКТОРА АКВАТОРИИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ с 2009 г. по 2018 г. <i>Сагатовла Е.Ю., Павличенко И.Н., Гамидова А.М., Мусалаева З.А.</i>	87
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГИПС <i>Чагучиев М.Ч.</i>	94

УДК 551.247 (470.661)

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-4-16

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНЫЙ

Керимов И.А.¹⁻³, Гайсумов М.Я.^{3,4}

¹*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва*

²*ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный*

³*Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный*

⁴*НПП «Геосфера», г. Грозный*

В работе приведены данные о тектоническом строении, современной геодинамической активности и материалы по изучению негативных экзогенных процессов в результате разработки нефтяных месторождений, расположенных на урбанизированной территории.

Выполнен анализ геодинамики Терско-Сунженской структуры, расположенной в центральной части Терско-Каспийского прогиба. История формирования данной тектонической зоны носит длительный, многоактный характер и определяющим фактором в образовании структуры является разломно-блоковая тектоника. На современном этапе, территория также определяется как геодинамически активная, состоящая из блоков, ограниченных разломами и разрывными нарушениями, которые характеризуются интенсивными движениями земной поверхности. Разрядка напряжений выражается в деформировании горного массива а в случае быстрых (скачкообразных) разрядок тектонических напряжений – в виде землетрясений.

Особым условием является то, что на территории города расположены Старогрозненское и Октябрьское нефтяные месторождения. К настоящему времени суммарный отбор составил более 200 млн тонн нефти. Длительная разработка месторождений привела к нарушениям равновесного состояния геологической среды со значительным изменением пластовых условий и соответственно к развитию опасных геодинамических процессов.

Ключевые слова: геология, тектоника, геодинамика, разломы, движения земной поверхности, землетрясение, разработка нефтяных месторождений, урбанизированные территории.

GEODYNAMIC FEATURES OF THE TERRITORY S. GROZNY

Kerimov I.A.¹⁻³, Gaysumov M.Ya.^{3,4}

¹*The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow*

²*M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny*

³*Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny*

⁴*SPE «Geosphere», Grozny*

In the paper presents data on the tectonic structure, modern geodynamic activity, and materials on the study of negative exogenous processes as a result of the development of oil fields located in an urbanized area.

Completed the geodynamics of the Terek-Sunzha structure located in the central part of the Terek-Caspian trough is analyzed. The history of the formation of this tectonic zone has a long, multi-act nature and the determining factor in the formation of the structure is fault-block tectonics. At the present stage, the territory is also defined as geodynamically active, consisting of blocks limited by faults and breaking fault, which are characterized by intense movements of the earth's surface. The discharge of stresses is expressed in the deformation of the rock mass, and in the case of fast (spasmodic) discharges of tectonic stresses – in the form of earthquakes.

A special condition is that Starogroznsky and Oktyabrsky oil fields are located on the territory of the city. To date, the total selection has amounted to more than 200 million tons of oil. Long-term development of deposits led to disturbances in the equilibrium state of the geological environment with a significant change in reservoir conditions and, accordingly, to the development of dangerous geodynamic processes.

Keywords: geology, tectonics, geodynamics, faults, earth surface movements, earthquake, development of oil fields, urban areas.

Введение

Город Грозный с площадью более 250 кв. км располагается в пределах Терско-Сунженской структурно-тектонической зоны, которая находится в центральной части Тер-

ско-Каспийский прогиб (ТКП) и, по мнению многих исследователей, ее образование в целом происходило одновременно с развитием прогиба [2, 16, 20-22, 25 и др.].

Формирование ТКП предполагается с юрского времени, когда на фоне спокойного тектонического режима, размещение существующих впадин и поднятий в палеозойском фундаменте определялось Терско-Хасаутскими восточным окончанием Пшекиш-Тырнаузского разломов. Тектоническая активизация складчатого сооружения Большого Кавказа на рубеже понт-акчагыла, оказывала значительное геодинамическое влияние и на формирование ТКП. На фоне общего меридионального сжатия Большого Кавказа, и возможно регионального поля напряжений, происходит активизация разломов и как следствие «взрывное» в геологическом времени, формирование Терской и Сунженской системы складок [21, 23, 25]. Позже в поздне-акчагыльском и апшеронском времени рост хребтов прекратился и на фоне погружения района накопилась мощная толща осадков, которая под действием внутренних напряжений и гравитационных сил разряжалась путем формирования складок. Резкая активизация субмеридионального сжатия на рубеже плейстоцена-голоцена продолжила формирование ТКП. Происходит обновление старых и возникновение новых разрывов северо-западных и северо-восточных простираний на уже существующих складках, усложнение форм рельефа и рост складок в целом [2, 16, 25 и др.]. Этот процесс роста складок и хребтов продолжается и в настоящее время.

Расчленение прогиба с появлением Терско-Сунженской структурно-тектонической зоны относится к началу позднеорогенной стадии и фиксируется по сокращению мощностей сарматского яруса, появлению перерывов в осадконакоплении и некоторым изменениям фаций (например, размыв в основании верхнего сармата на западном продолжении Сунженского поднятия в Аргуданской антиклинали). Относительный рост поднятий фиксируется для мезотического и понтического веков. В киммерийском веке происходит значительная денудация сводов Терского и Сунженского поднятий. В верхнем плиоцене эти поднятия вовлекаются в активное прогибание краевого прогиба и акчагыльские отложения на этих сводах ложатся на различные горизонты миоцена и олигоцена. Начало орографического роста современных хребтов-поднятий относится к раннему антропогену.

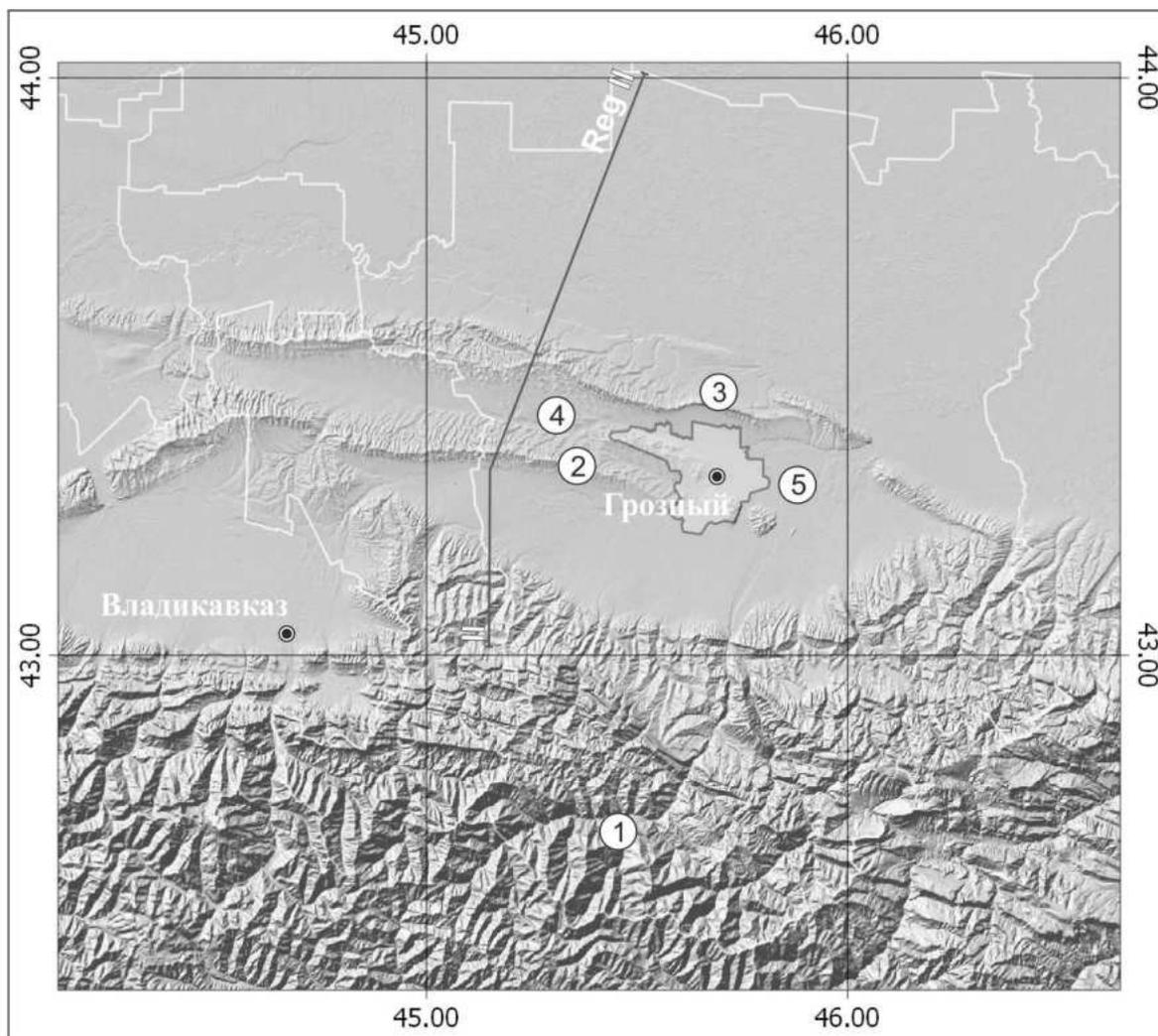
Структурно-тектонические особенности

Терско-Сунженская структурно-тектоническая зона состоит из Терской и Сунженской антиклинальных зон, разделенных системой впадин. В цепи впадин, с запада на восток, выделяются: Верхнекурпская перемычка (к юго-западу от г. Малгобек), Алханчуртская впадина, Первомайская перемычка и Грозненская впадина. На современном этапе Терская и Сунженская антиклинальные зоны представлены на поверхности Терским и Сунженским хребтами-поднятиями. При этом структура поднятий существенно различна на разных стратиграфических уровнях.

Терская антиклинальная зона в структуре меловых и палеоцен-эоценовых и более поздних отложений представляет собой коробчатую складку с амплитудой 1,5-2 км, шириной 6-15 км с плоским (шириной 3-6 км) сводом и наклоном крыльев до 30-45 градусов. В глинистых раннеорогенных (майкопская серия) молассах мощностью 1-2 км поднятие преобразуется, и в структуре средне-верхнемиоценовых, более компетентных карбонатно-терригенных отложений, мощностью 1,5-2 км, в разных местах выделяется 1-3 кулисных антиклинали, местами опрокинутых, осложненных надвигами с амплитудами до 1 км и разделенных синклиналиями [22, 24, 25].

Сунженская антиклинальная зона также неоднородно на разных стратиграфических уровнях. Предполагается, что в ее основании расположена зона разломов фундамента,

служащая продолжением Пшекиш-Тырныузской шовной зоны. Ее надразломная природа подтверждается геофизическими данными [13]. В осадочном чехле представлена локальными антиклинальными структурами Старогрозненской, Октябрьской, Северо-Октябрьской и др. По верхнемеловым и палеоцен-эоценовым отложениям в ядре поднятия фиксируется антиклиналь, местами коробчатая с падением крыльев под углами порядка 20-40 градусов. В пластичных раннеорогенных глинистых молассах (мощностью 1-1,5 км) и отложениях среднего и верхнего миоцена (до 2-3 км) ядро антиклинали пережато и оно приобретает гребневидный или диапировый облик, а местами запрокидывается к югу и осложняется сбросами, взбросами и надвигами. Северное крыло главной антиклинали местами осложнено более мелкими узкими складками протяженностью 10-15 км. На востоке поднятие расщепляется с образованием крупных Новогрозненской и Старогрозненской антиклиналей.



1-Горст-антиклинорий Большого. Кавказа; 2 - Сунженская антиклинальная зона;
3 – Терская антиклинальная зона; 4 – Алханчуртская впадина; 5 – Грозненская впадина.

Рис. 1. Схема местоположения г. Грозный

Алханчуртская впадина среди цепи впадин, разделяющих Терскую и Сунженскую антиклинальные зоны, наиболее изучена. Милановский Е.Е. и другие исследователи рассматривают эту структуру как относительно пассивный блок краевого прогиба, где кровля мела понижается к востоку в интервале глубин минус 4-6 км (т.е. располагается на 2-4 км ниже, чем в смежных поднятиях), а подошва верхнего сармата отмечается на глубинах минус 2-3 км. Впадина вы-

полнена практически горизонтально залегающими молассами и характеризуется повышенными мощностями верхнесарматского подъяруса (до 1 км), присутствием размытого в поднятиях мэотиса и мощным (до 1 км) верхним плиоценом. Однако малые мощности четвертичных отложений, очевидно, указывают на «втягивание в воздымания» этой территории [21]. Ограничивающая Алханчуртскую впадину с запада Верхнекурпская перемычка рассматривается как самостоятельная брахиантиклиналь с выходами в ядре верхнего плиоцена, осложненного малоамплитудным взбросом.

Дисгармоничность складок данных хребтов выражается в «скошенности» складок: Терских на север и Сунженских – на юг, с образованием разрывных нарушений как в своде так и на крыльях складок. Результатами палеотектонического анализа предполагается стадийное (тектоническое) образование складок [4, 20, 25].

Грозненская впадина расположена между восточными частями Терской и Сунженской антиклинальных зон, т.е. обладает крутыми северо-восточным и юго-западными бортами. Слагающие это крыло средне- и верхнемиоценовые отложения не обнаруживают близости береговой линии, т.е. тектонические деформации являются более молодыми. На сочленении Грозненской впадины с разветвляющимися отрогами Сунженского поднятия расположен г. Грозный.

В настоящее время структура Терской и Сунженской антиклинальных зон детально изучена лишь в присводовой части поднятий в пределах мезозоя. Строение более глубоких частей, затрагивающих палеозойский фундамент, является явно недостаточным, геофизическим материалам и дается обычно в предположительной форме. Здесь первоначально предполагалось «пирамидально-блоковое» строение фундамента, затем «клавишное», и, наконец, появились представления о существовании под разными участками Терской и Сунженской антиклинальных зон горстов, сколов, сдвигов, надвигов и даже грабенов в кровле палеозойского фундамента [4, 5, 13, 16 и др.].

Современная геодинамика

Для изучения современных вертикальных движений земной поверхности (СВДЗП) используются данные повторных нивелировок высокой точности. Во второй половине XX в. на территории Европейской части СССР и Восточной Европы были по сети региональных профилей были выполнены измерения СВДЗП, по результатам которых в 1971, 1973, 1986 гг. были составлены карты современных вертикальных движений земной поверхности различных масштабов. В 1973 г. Главным управлением геодезии и картографии СССР была издана Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы масштаба 1:2 500 000 (Главный редактор: Ю.А. Мещеряков).

По результатам этих исследований для горных областей Кавказа в целом скорости составляют до +10 мм/год и более и в прогибах, в том числе ТКП, скорости вертикальных движений составляют $0 \pm (\pm 2)$ мм/год, но характер распределения скоростей различен.

Необходимо отметить, что по данным долговременных измерений СВДЗП был установлен колебательно-волновой характер развития вертикальных тектонических движений земной коры в пределах всего Черноморско-Каспийского региона [5, 23]. Наиболее интенсивные локальные аномалии вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности приурочены к зонам тектонических нарушений (разломам) различного типа и порядка. Для таких районов установлено, что эти аномальные движения высокоамплитудны (свыше 50 мм/год), короткопериодны (от 0,1 года до первых лет), пространственно локализованы (от 0,1 км до первых десятков км), обладают пульсационной и знакопеременной направленностью [17, 18, 23].

В 70-е - 80-е годы прошлого столетия исследования подетальному изучению геодинамических особенностей ТКП были выполнены сотрудниками ИГиРГИ. Целью этих работ было - выявление сравнительной характеристики современных вертикальных движений земной поверхности для различных структурно-тектонических зон прогиба [24]. Методика исследований заключалась в комплексировании высокоточного повторного нивелирования с высокоточными гравиметрическими и повторными магнитометрическими наблюдениями при ведущей роли первого. Наблюдения выполнены вдоль серии локальных и региональных профилей, расположенных, в основном, поперечно простиранию основных геоструктурных элементов прогиба. Поперечные профили увязаны между собой сетью продольных профилей значительно меньшей плотности. Принятая методика наблюдений и применяемые приборы позволили выполнить повторное нивелирование со средней квадратической случайной погрешностью $\pm 0,50 \div 0,95$ мм/км, высокоточные гравиметрические наблюдения с точностью $\pm 0,025 \div 0,030$ мГал, высокоточные повторные магнитометрические наблюдения с точностью $\pm 0,5$ нТ [19, 24].

Проведенные исследования позволили установить высокую современную тектоническую активность изучаемой территории ступенеобразно повышаясь в сторону Большого Кавказа. Характерной особенностью СВДЗП, является их унаследованность во времени, о чем говорит неизменность границ высокоградиентных зон.

Интерпретация профильных наблюдений при существующей степени изученности показывает, что рассматриваемая территория характеризуется неоднородностью в распределении современной геодинамической активности. Эта дифференциация носит блоковый характер, границы между участками современных поднятий и опусканий земной поверхности выражена высокоградиентным изменением скоростей СВДЗП. Ширина блоков составляет 2-3 км и более а величина градиентов составляет порядка 5-8 мм/км, фоновые значения при этом составляют (непосредственно в пределах опускающихся и поднимающихся блоков) 1-2 мм/км. Распределение вертикальных движений по площади также неоднородно, отдельные структурные зоны характеризуются повышенной современной активностью, в то время как для других характерны пониженные значения СВДЗП.

Уверенно можно выделить единый блок, соответствующий Терской и Сунженской антиклинальным зонам и разделяющей их Алханчуртской впадиной (рис. 2). Ограничен этот блок разломами с высокой геодинамической активностью; на востоке ширина разлома составляет 8-10 км величина относительных вертикальных смещений - 25-28 мм/год, на западе ширина разлома 6-8 км с величиной смещений - 8-12 мм/год. Длина блока составляют 30-35 км, а ширина 6-7 км.

Сопоставление результатов геодинамических исследований с данными сейсморазведки и бурения позволяет однозначно установить, что высокоградиентные межблоковые зоны отражают на земной поверхности местоположение и активность разломов фундамента и предполагать, что возникновение этих зон обусловлено высокой геодинамической активностью разломов в фундаменте. Все установленные высокоградиентные межблоковые зоны хорошо сопоставляются с основными глубинными разломами, выделенными по данным МОВЗ [10, 13, 25].

Выполненные исследования геодинамики Терско-Сунженской структурно-тектонической зоны свидетельствуют о сложности этого процесса. Образование структур прогиба происходило в обстановке горизонтального сжатия. Однако неясным остается вопрос об источнике силы этого регионального сжатия. Так, многие видят источник сжатия в трансформации вертикальных сил в горизонтальные [2, 21, 25 и др.]. Скорее всего, таким источником мог быть рост Кавказского горного сооружения на орогенном этапе развития, начиная с сармата, который создавал большие добавочные напряжения в литосфере, или горизонтальная составляющая силы тяжести могла возникнуть за счет собственного веса пород при их наклоне.

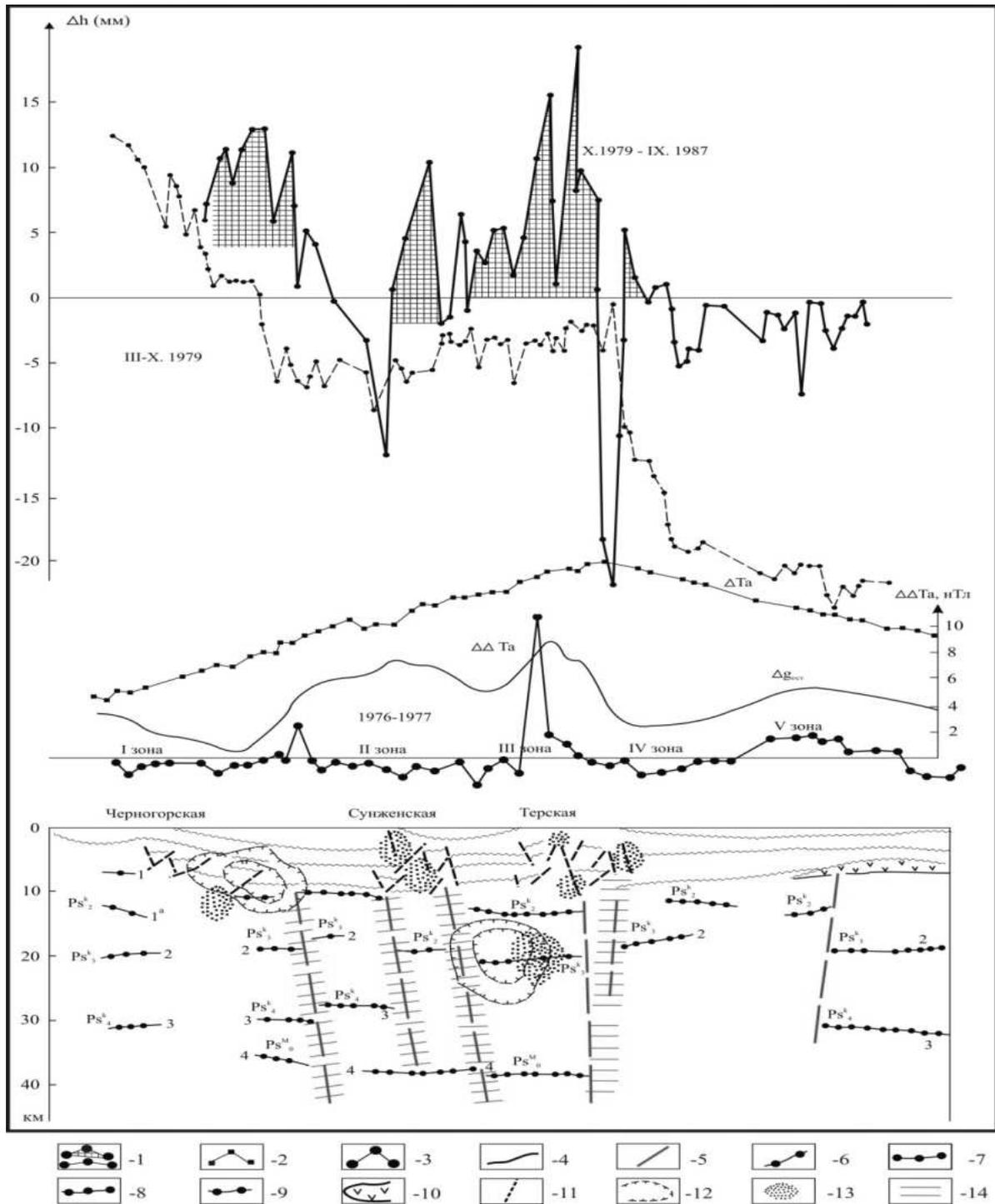


Рис.2 СВДЗП и геофизические поля по региональному профилю МОВЗ [21].

Условные обозначения: 1 — кривые СВДЗП за различные циклы наблюдений; 2 — кривая магнитного поля; 3 — кривая остаточных аномалий силы тяжести; 4 — кривая вариаций магнитного поля; 5 — разломы по геолого-геофизическим данным; 6-11 — сейсмические границы разделов по данным МОВЗ: 6 — поверхность кристаллического фундамента, 7 — поверхность гранитного слоя, 8 — поверхность базальтового слоя, 9 — кровля верхней мантии, 10 — эффузивные породы, 11 — разломы в консолидированной части коры; 12 — области разуплотнения пород в земной коре по данным интерпретации аномалий силы тяжести; 13 — зоны современного разупрочнения (повышенной трещиноватости) пород среды по данным тектонофизической интерпретации СВДЗП; 14 — предполагаемые субвертикальные кинематические флюидопроницаемые зоны.

Современные движения земной поверхности, вызванные разработкой нефтяных и газовых месторождений.

В начальной стадии разработки давление горных пород (литостатическое давление) на кровлю пласта, содержащего углеводороды, уравнивается напряжениями в скелете и пластовым поровым давлением. При уменьшении порового давления в ходе разработки месторождений увеличиваются напряжения в скелете коллектора, происходит сжатие пор и опускание поверхности над разрабатываемым пластом. По литературным данным, скорости опускания земной поверхности при извлечении углеводородов обычно составляют 1-2 см в год, суммарные величины просадок не превышают первых десятков сантиметров, случаи когда оседания могут нескольких метров и более. Однако известны случаи и значительных просадок - до нескольких метров, сопровождающиеся деформациями наземных сооружений, смятием обсадных колонн или затоплением опускающихся участков и т.п. [1, 11, 14, 17 и др.].

В зависимости от геологии и механических характеристик коллектора и покрывающих пород, а также от режимов эксплуатации месторождений, возникающие в коллекторе деформации, могут распространяться в кровлю коллектора, покрывающие его слои и т.д. вплоть до поверхности, где они проявляются преимущественно в виде вертикальных смещений. При этом возможны различные случаи [11, 14, 17, 24, 26 и др.]:

- если резервуар представлен очень жесткой породой (твердым песчаником, твердыми доломитами, известняками), его деформация будет малой и близкой к упругой. Возникнет небольшое вертикальное сжатие пласта без явных последствий на поверхности;

- если резервуар представлен слабыми легко уплотняемыми породами (типа рыхлых песчаников, песков, мела) или чистыми алевритами, деформация коллектора будет более существенной, далеко выходящей за пределы упругости.

Актуальность изучения данного вопроса еще больше возросла к концу нашего века в связи с активизацией инженерной деятельности человека. Несмотря на немалые исследования ученых разных стран, следует отметить, что нет еще единой методики определения величины вертикальных смещений земной поверхности в зависимости от интенсивности разработки нефтегазовых месторождений.

Коллекторы нефти и газа в естественных условиях залегания находятся под напряжением из-за влияния горного давления и упругих свойств самого коллектора. В геодинамически активных районах сильное влияние могут оказывать и тектонические силы. До начала воздействия на пласт внешнее давление от действия собственной массы вышележащих пород и возникающее в пласте ответное напряжение находятся в условиях относительного равновесия.

В процессе разработки месторождений геостатическое равновесие нарушается. Продуктивный пласт подвержен сжимающему давлению, величина которого равна разности горного и пластового давления. Пластовое давление при разработке снижается, за исключением коротких периодов сейсmodинамической активности [17, 18, 27-30 и др.].

В настоящее время имеется довольно большое количество работ, посвященных расчетам геокинематических изменений и прогнозу оседаний земной поверхности при отработке нефтяных и газовых месторождений. Данные методы можно условно подразделить на три основные группы [6, 11, 14].

1. Методы прогноза, основанные на теоретических представлениях, заимствованных из методов предрасчета параметров процесса сдвижения горных пород при разработке пологопадающих угольных месторождений.

2. Методы прогноза, основанные на оценке параметров уплотнения коллектора в процессе отбора углеводородного сырья.

3. Методы прогноза, основанные на использовании численных моделей расчета напряженно-деформированного состояния горного массива.

Первая группа методов характерна для раннего периода развития механики горных пород при добыче нефти и газа и основывается на широко известных работах ученых - основоположников науки о сдвигении горных пород на пологопадающих угольных месторождениях: С.Г. Авершина, В.Н. Земисева, М.А. Иофиса, Е. Литвинишина, Г. Кратча и др. В данных методах для прогноза мульды сдвигения земной поверхности используется основное решение дифференциального уравнения сдвигения горных пород параболического типа. Характерным недостатком данных методов является то, что они практически не опираются на реальные физико-механические свойства вмещающих пород.

Во второй группе методов оседание земной поверхности при добыче нефти напрямую связывается с величиной уплотнения нефтяного коллектора. Это работы Э.Г. Геровича, А.С. Мазницкого, К.Н.Никоненко, Б.И. Тульбовича, В.И. Петренко и др., а также ряда зарубежных специалистов. Основное отличие заключается в методах расчета сжимаемости коллектора, однако, в большинстве методов используются параметры уплотнения порового пространства, подробно описанным В.М.Добрыниным. Последующее интегрирование по объему полученной функции уплотнения коллектора дает искомое оседание поверхности в любой интересующей исследователя точке. Данный подход заимствован из широко применяемых методов прогноза сдвижений земной поверхности при разработке угольных месторождений. Основным недостатком данного подхода является то, что не учитываются конкретные физико-механические свойства и структурные особенности горного массива а также геомеханической модели деформирования самого коллектора. К настоящему времени разработано большое количество модельных представлений, охватывающих практически весь спектр механики сплошных сред. В связи с интенсивным развитием численных методов, их стремятся реализовать в различных компьютерных программах. Очевидно, что данное направление является на сегодняшний день наиболее перспективным, т.к. возникает возможность моделировать разнообразные горно-геологические ситуации и прогнозировать величины параметров моделируемого процесса.

В качестве механической модели поведения коллектора под нагрузкой используются упругая и пластическая модели, модели среды с консолидацией и так называемая "шатровая" модель, которая отражает основные особенности деформирования пористых насыщенных сред под нагрузкой. Следует отметить, что данная модель является одной из наиболее признанных и широко используемых в зарубежной литературе. Известны работы специалистов компании "Phillips Petroleum Company" (ChinL.Y., BoadeR.R. et al., реализовавших данную модель методом конечных элементов в трехмерной постановке для условий резервуара Экофиск в Северном море, где оседание дна моря к 1993 г. достигло 6-7 м) [1, 30]. По этому же пути идут другие исследователи.

На территории Северного Кавказа один из первых полигонов по наблюдению за явлениями оседания земной поверхности был создан на Северо-Старопольско-Пелагиадинском месторождении газа. На этом полигоне в 1961-62 гг. проводились геоморфологические исследования и двухкратное нивелирование III класса. По результатам исследований было отмечено максимальное оседание земной поверхности (130-150 мм), приуроченное к центральной части месторождения, имеющей депрессионную воронку падения пластового давления (Герновой Ю.В. и др.). Авторы пришли к выводу, что оседание земной поверхности вызвано, в первую очередь, сжимаемостью продуктивного пласта хадумского горизонта и вышележащей толщи пластичных майкопских глин и предложили для расчета оседания земной поверхности использовать коэффициент упругости пласта. Расчет коэффициента объемной упругости ими производился по графику Холла, переработанном В.Н. Щелкачевым. Упругость пласта зависит от коэффициента объемной упругости пласта, общей пористости и коэффициента объемной упругости жидкости:

$$\beta^* = m\beta_{жс} + \beta_c, \quad (1)$$

где

β^* - упроемкость пласта;

β_c - коэффициент объемной упругости пласта;

$\beta_{ж}$ - коэффициент объемной упругости жидкости;

m - общая пористость.

Авторами ранее была предложена методика расчетов деформации коллекторов нефти и газа и оседания земной поверхности, обусловленные разработкой нефтяных и газовых месторождений. Данная методика состоит из двух этапов: на первом этапе производится расчет деформации коллекторов нефти и газа, основанная на исследованиях В.М. Добрынина; на втором выполняются расчеты передачи деформаций пласта на дневную поверхность с использованием метода С.И. Субботина [11, 14].

Расчет деформации коллекторов нефти и газа основан на исследованиях В.М. Добрынина (1970), который в своей работе, посвященной изучению деформации и изменений физических свойств коллекторов нефти и газа, ввел коэффициент сжатия скелета пласта, характеризующий непосредственно внешнюю деформацию пласта [3]. Как известно, относительные деформации насыщенной жидкостью коллекторов (деформация скелета, порового пространства и твердой фазы) при всестороннем сжатии обусловлены двумя видами напряжений: эффективного напряжения ($\sigma - P$) и давления жидкости в порах. Эффективное давление, представляющее разность между средним нормальным напряжением и давлением жидкости в порах P , обуславливает деформацию скелета (каркаса) коллектора. Давление жидкости в порах (поровое давление) P - деформацию минеральных зерен (твердой фазы) породы.

По Добрынину В.М. относительная суммарная деформация коллектора определяется следующим соотношением:

$$\frac{dV}{V} = \beta_{ск} \cdot d(\sigma - P) + \beta_{мс} \cdot dP, \quad (2)$$

где

$\beta_{ск}$ - коэффициент объемного сжатия скелета;

$\beta_{мс}$ - коэффициент объемного сжатия твердой фазы;

V - объем скелета осадочной породы (m^3);

dV - изменение объема скелета осадочной породы (m^3);

P - пластовое давление (Па);

$(\sigma - P)$ - эффективное давление (Па).

Особое значение в процессах, протекающих в пластах при эксплуатации нефтяных, газовых и водоносных горизонтов, имеет коэффициент объемной упругости пласта:

$$\beta_c = m \cdot \beta_n \quad (3)$$

Давление жидкости в порах определяется путем измерения, а геостатическое давление определяется средневзвешенное для разреза из нескольких пластов с учетом углов падения пластов, можно представить в следующем виде:

$$\sigma = g \sum_{i=1}^n \rho_i h_i \cos \varphi_i, \quad (4)$$

где

φ_i - угол падения i -го пласта.

Для оценки оседаний кровли нефтеносных горизонтов перейдем от объемной деформации к вертикальному сжатию пласта. Для одноосного сжатия можно представить в следующем виде:

$$dh = h(\beta \cdot d(\sigma - P) + \beta_{ms} \cdot dP) , \quad (5)$$

где

dh - вертикальное сжатие пласта;

h - средняя нефтенасыщенная толщина пласта;

$d(\sigma - P)$ - изменение эффективного напряжения в процессе эксплуатации месторождения;

dP - изменение давления жидкости в порах в процессе эксплуатации.

Полученное уравнение, по нашему мнению, позволяет наиболее физически обосновано оценивать величины оседаний по данным лабораторных измерений механических свойств образцов горных пород и промыслово-геологических исследований на нефтяных месторождениях.

Старогрозненское и Октябрьское нефтяные месторождения значительной своей частью расположены на застроенной территории г. Грозного. Месторождения многопластовые, находятся в длительной разработке, режим эксплуатации упруго-водонапорный характеризуется значительным падением пластового давления и соответственно изменениями напряженного состояния, как коллектора, так и вмещающих пород.

Для этих месторождений, авторами были рассчитаны с использованием приведенной выше формулы (5) величины оседания кровли пласта. Расчеты проводились как для гранулярных (миоценовые залежи), так и для кавернозно-трещинных (меловые залежи) коллекторов за период времени с начала разработки залежей по настоящее время.

Далее были выполнены расчеты передачи деформаций пласта на дневную поверхность с использованием метода С.И. Субботина (1992). Расчеты были выполнены для кратчайшего расстояния от кровли продуктивного пласта до поверхности а значения модулей упругости для покрывающей толщи песчано-глинистых отложений приняты по справочным данным.

За исследуемый период наиболее длительное время в эксплуатации находятся миоценовые залежи в карагано-чокракских отложений и оседания земной поверхности вызванное разработкой незначительны. Это объясняется относительно небольшим падением пластового давления, а также упругими свойствами пласта. Период разработки миоценовых залежи Ташкалинского участка Старогрозненского месторождения составляет 72 года, пластовое давление упало на 3,6 МПа, суммарная величина оседания кровли пласта более 400 мм, поверхности – 94 мм а средняя скорость оседания в год составляет порядка 1 мм/год. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Хотя другие миоценовые залежи характеризуются большим падением пластового давления, величина скорости оседания для них составляет менее 1 мм/год. Наибольшие падения пластовых давлений произошло в меловых залежах обоих месторождений. В настоящее время залежи месторождений находятся в завершающей стадии разработки. На фоне интенсивных отборов нефти пластовые давления уменьшились с 69-72 до 41-43 МПа. Суммарная величина оседания кровли пласта и соответственно поверхности за весь период эксплуатации составляют больших величин порядка 345-422 мм, а среднегодовая скорость оседания 6-8 мм.

Наибольшее влияние на суммарную величину оседания кровли пласта оказывает величина изменения эффективного напряжения в процессе эксплуатации залежи. По Старогрозненскому месторождению этот показатель наибольший – 10.9 (см. табл.1).

Таблица 1

**Расчет оседания кровли пласта нефтяных месторождений и прогноз смещений
земной поверхности над ними**

№№ пп	Залежи	T, год	dt, лет	P _{нач} , МПа	P _{тек} , МПа	dP, МПа	d(σ-P), Мпа	β _{ск min} , МПа ⁻¹	β _{ск max} , МПа ⁻¹	β _{тв}	H, м.	h _{ср} , м.	dh _{кровли} , мм	dh _{пов} , мм	V _{ср} . оседания, мм/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Старогрозненское месторождение															
1	Меловые (верхний и нижний мел)	1964	54	72.1	42.7	29.4	10.9	0.35	0.57	0,2	4100	272 +168	3252- 3725	-345	-6.0
2	Миоценовые (караган – чо- крак)	1893	125	10.6	6.5	4.1	2.4	1.2	1.46	1.06	140	27	195-212	-55	-0.5
3	Гашкалинский участок (кара- ган – чокрак) залежь)	1946	72	17.9	3.6	14.3	7.20	1.4	1.77	1.73	320	12	417-450	-94	-1.3
Октябрьское месторождение															
4	Меловая (верхний мел)	1966	52	69.2	41.2	28.0	1.8	0.32	0.43	0.3	3844	275	2475- 2522	- 422	-8.1
5	Миоценовые (караган – чо- крак)	1913	105	7.0	4.5	2.5	1.50	1.6	2.29	1.42	1102	71	422-496	-97	-0.9

Помимо природной сейсмичности, при длительной разработке месторождений углеводородов нарушаются равновесные условия в пласте, что может вызвать критическое перераспределение напряжений в разрабатываемом пласте и вмещающих породах и приводит к появлению техногенной сейсмичности[1, 12, 27-30]. Землетрясения с доказанной техногенной природой происходили на Старогрозненском и Октябрьском нефтяных месторождениях [12, 28].

Слабые землетрясения в Старогрозненском районе происходили очень часто, как до, так и в различные периоды эксплуатации[9, 25]. На фоне слабых землетрясений в 1938 г. и 1963 г. происходили значительные землетрясения с магнитудой M = 3,8-4,3, возбужденные различными факторами разработки нефтяного месторождения.

Землетрясение 1971 с M=4,3, h=2,8 км, I₀=7-8 баллов, вызвавшее разрушения жилых и промышленных зданий города произошло на фоне резкого падения давления, непомерного отбора нефти и начала закачки воды в верхемеловую залежь для интенсификации отбора нефти.

Это землетрясение вызвало рой землетрясений, получивших название Грозненского роя. Начавшись в Нефтемайске, рой землетрясений мигрировал по широтному разлому на северном крыле Старогрозненского месторождения до п. Иванова, затем изменил свое направление и по Бенойско-Эльдаровскому разлому через западную окраину г. Грозного (п.Черноречье) рой мигрировал к Октябрьскому нефтяному месторождению.

Выводы:

Выполненный анализ геодинамики Терско-Сунженской структуры, расположенной в центральной части Терско-Каспийского прогиба, свидетельствуют о сложности этого процесса. История формирования данной тектонической зоны носит длительный, многоактный характер и определяющим фактором в образовании структуры является разломно-блоковая тектоника. Образование структур прогиба происходило в обстановке горизонтального сжатия. Однако не-

ясным остается вопрос об источнике силы этого регионального сжатия. Так, многие видят источник сжатия в трансформации вертикальных сил в горизонтальные. Скорее всего, таким источником мог быть рост Кавказского горного сооружения на орогенном этапе развития, начиная с сармата, который создавал большие добавочные напряжения в литосфере, или горизонтальная составляющая силы тяжести могла возникнуть за счет собственного веса пород при их наклоне.

На современном этапе, территория также определяется как геодинамически активная, состоящая из отдельных разноранговых блоков, ограниченных разломами и разрывными нарушениями, которые характеризуются интенсивными движениями земной поверхности. Разрядка напряжений выражается в деформировании горного массива а в случае быстрых (скачкообразных) разрядок тектонических напряжений – в виде землетрясений.

Длительная разработка месторождений привела к нарушениям равновесного состояния геологической среды со значительным изменением пластовых условий и соответственно к развитию опасных геодинамических процессов.

На Старогрозненском и Октябрьском месторождениях известны землетрясения с доказанной техногенной природы. Разработка месторождений нефти сопровождается изменением напряженного состояния пород коллектора и соответственно упругой деформации окружающего горного массива, особенно вышележащих пород, способствуя развитию негативных экзогенных процессов на поверхности.

В целом полученные данные свидетельствуют, что территория города Грозного расположена в высокоактивной геодинамической зоне и как следствие подвержена развитию негативных геодинамических процессов как природного, так и техногенного характера. В целях обеспечения геодинамической безопасности на Старогрозненском нефтяном месторождении рекомендуется создание геодинамического полигона и разработаны методика комплексного геодинамического мониторинга [7, 8, 15, 28].

*Работа выполнена при финансовой поддержке
РФФИ (грант №18-45-200001 p_a)*

Литература

1. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК, 2005. 252 с.
2. Геологическое развитие и становление современной структуры Терско-Каспийского передового прогиба / Короновский Н. В., Гуцин А. И., Никитин М. Ю. и др. // Тектоника орогенных сооружений Кавказа и средней Азии. М.: Наука, 1990. С. 4-35.
3. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. М.: Недра, 1970. 239 с.
4. Жемеричко М.И. Развитие морфоструктур Передовых хребтов Чечено-Ингушской АССР в плиоцен-четвертичное время // Природа и природные ресурсы центральной и восточной части Северного Кавказа. Орджоникидзе: СОГУ, 1981. С. 3-8.
5. Касьянова Н.А. Особенности современной геодинамики центральной части Терско-Каспийского прогиба // Геотектоника, 1994. № 5. С. 85-90.
6. Кашиников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. М.: Недра, 2007. 467 с.
7. Керимов И.А. Детальное изучение сейсмического режима и оценка сейсмической опасности территории Чечни и Ингушетии // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2014. № 3(24). С.96-109.
8. Керимов И.А., Ахматханов Р.С. К вопросу о создании геодинамического полигона на Старогрозненском нефтяном месторождении // Известия КБНЦ РАН, 2014. №1(57). С. 30-37.
9. Керимов И.А., Бадаев С.В. Сейсмичность и сейсмический режим территории Восточного Предкавказья // Известия КБНЦ РАН, 2014. №1(57). С. 38-45.

10. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Абубакарова Э.А. Геофизические поля и разломная тектоника Терско-Каспийского прогиба // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Пятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 06-10 июля 2009 г. Материалы конференции. Екатеринбург, 2009. С.226-230.
11. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. К вопросу о деформации коллекторов нефти и газа в условиях ТСНО // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2012. № 1(16). С.47-58.
12. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. Техногенная сейсмичность на месторождениях нефти и газа // Геология и геофизика Юга России, 2012. № 1. С.22-45.
13. Керимов И.А., Гайсумов М.Я. Сейсмичность и современная геодинамика территории Чеченской Республики // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2012. С. 43-64.
14. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. Деформации пластов в связи разработкой нефтяных месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области // Геология и геофизика юга России, 2012. № 4. С.43-52.
15. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С., Бадаев С.В. Комплексный геодинамический мониторинг на нефтяных и газовых месторождениях Терско-Каспийского прогиба // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2013. № 2(19). С.103-120.
16. Крисюк И.М., Сазонов И.Г., Стерленко З.В. Роль разломов разных генераций в формировании скоплений углеводородов на территории Терско-Каспийского прогиба // Геолого-геофизические проблемы поисков нефти в районах с высокой освоенностью недр. М.: Наука, 1988. С. 47-54.
17. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: МГУ, 2004. 262 с.
18. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломных зон // Физика Земли, 2004. №10. С. 95-112
19. Кузнецова В.Г., Максимчук В.Е. Результаты тектоно-магнитных исследований для изучения структуры и современной геодинамики литосферы Терско-Каспийского прогиба // Геофизический журнал, 1991. Т. 13. № 6. С. 47-55.
20. Копп М.Л. Позднеальпийская коллизонная структура Кавказского региона // Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Под ред. Ю.Г. Леонова. М.: ГЕОС, 2007. С. 285-316.
21. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Наука, 1968. 499 с.
22. Минерально-сырьевые ресурсы Чеченской Республики / Под ред. Керимова И.А., Аксенова Е.М. Грозный: Грозненский рабочий, 2015. 512 с.
23. Никонов А.А. Современные движения земной коры. М.: Ком. Книга, 2006. 192 с.
24. Современная геодинамика и нефтегазоносность / Сидоров В.А., Багдасарова М.В., Атанасян С.В. и др. М.: Наука, 1989. 199 с.
25. Стерленко Ю.А., Вобликов Б.Г. Геодинамика, глубинные разломы и деструктивные поля Терско-Каспийского прогиба // Известия СКНЦ ВШ. Естественные науки, 1991. № 3. С. 80-88.
26. Barbour, A.J., Wyatt F.K. Modeling strain and pore pressure associated with fluid extraction: The Pathfinder Ranch experiment // J. Geophys. Res. Solid Earth, 2014, 119.Pp. 5254–5273.
27. Hauksson E., Gobel T., Ampuero J.-P., Cochran E.A. Century of oil-field operations and earthquakes in the greater Los Angeles Basin, southern California // The Leading Edge, June 2015, SEG. Downloaded 06/03/15 to 130.118.44.150. Pp. 650-656.
28. Kerimov I.A. Starogroznenskoye field oil and gas production and seismic activity // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018. V. 194. № 072004. Pp. 1-6.
29. McGarr A., Simpson D., Seeber L. Case Histories of Induced and Triggered Seismicity, International Geophysics, 2002, 81A. Pp. 647-661.
30. Zoback M., Zinke J. Production-induced normal faulting in the Valhall and Ekofisk oil fields // Pure and Appl. Geophys., 2002. V. 159. Pp. 403-420.

УДК. 550.34

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-17-28

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Мамаев¹ С.А., Дорофеев² В.М., Абдулатипов³ А.М., Мамаев¹ А.С.

¹Институт геологии ДФИЦ РАН, Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии и экспериментального проектирования (Москва)², ³Дагестанский государственный медицинский университет (ДГМУ)

Представлены результаты исследований, направленных на создание динамических моделей сооружений, пригодных для расчета на сейсмостойкость. Рассмотрен метод определения параметров динамических моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации. Приведены примеры определения динамических параметров одномассовой модели для детерминированного и статистического случаев.

Ключевые слова: динамическая модель, инженерно-сейсмометрическая информация, частоты свободных колебаний, коэффициент затухания, гистограмма, деформация, землетрясение, смещение, задача идентификации.

METHODS FOR DETERMINING DYNAMIC PARAMETERS OF BUILDINGS AND STRUCTURES BASED ON ENGINEERING AND SEISMOLOGICAL INFORMATION

Мамаев¹ S.A., Dorofeev² V.M., Abdulatipov³ A.M., Mamaev¹ A.S.

¹Institute of geology by FRC RAS of Dagestan, ²Moscow Research and Design Institute of Typology and Experimental Design, ³Dagestan State Medical University (DGMU)

The results of studies aimed at creating dynamic models of structures suitable for calculating earthquake resistance are presented. A method for determining model parameters based on engineering seismometric information is considered. Examples of determining the dynamic parameters of a single-mass model for deterministic and statistical cases are given.

Keywords: dynamic model, engineering-seismometric information, frequencies of free vibrations, attenuation coefficient, histogram, deformation, earthquake, displacement, identification problem.

Введение

Повышение экономичности сейсмостойкого строительства и надежности поведения сооружений при землетрясениях в значительной степени зависит от адекватности расчетной модели сооружения и реальной работы конструкции. Создание новых конструктивных решений при проектировании сооружений должно, прежде всего, опираться на соответствующее изменение в расчетных моделях сооружений, а также на создание новых моделей, которые более точно описывают реальную работу конструкций.

Для создания и идентификации новых расчетных моделей используют различные методы моделирования реальных сооружений, а также натурные испытания. Однако наиболее точную и полную картину о поведении здания при реальном сейсмическом воздействии можно получить только при помощи информации, получаемой на станциях инженерно-сейсмометрической службы, т.к. только в этом случае можно получить данные о реакции реального сооружения на воздействие, при которой конструкции могут испытывать предельные состояния.

Идентификация расчетных моделей сооружений в свою очередь является не простой задачей, т.к. ее решение приводит к классу некорректно поставленных задач, что требует дополнительной, в общем то произвольной, информации, а также в связи с необходимостью идентификации все более сложного класса моделей. В последнее время ряд авторов в своих расчетах использовали статистические расчетные модели сооружений, что, как ожидается, позволит вывести расчет сооружений на сейсмостойкость на уровень теории надежности. Однако работы по идентификации подобных расчетных моделей практически отсутствуют.

В настоящей работе дается довольно простой инженерный метод идентификации расчетных моделей сооружений на основе информации инженерно-сейсмометрических данных, позволяющей строить как детермированные, так и статистические модели.

ТЕОРИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

Идентификация моделей механических объектов сводится к определению параметров некоторого операторного уравнения, описывающего поведение объекта:

$$Y = L(\alpha, \beta, \gamma, \dots) X, \quad (1)$$

где X - входное воздействие;

Y - выходной сигнал;

L - оператор, известной структуры;

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$, - коэффициенты оператора L , определение которых и ставится задачей параметрической идентификации.

Как известно, задача идентификации является обратной задачей прикладной механики и относится к классу некорректно поставленных задач [1].

Некорректность постановки решаемой задачи обуславливается следующими соображениями:

1) неадекватность математической модели и реального объекта, т.е. принятая нами модель, в принципе, не может описать все особенности поведения реального объекта (в нашем случае строительной конструкции),

2) невозможность получения истинной картины о поведении объекта, т.к. в любом случае мы получаем ограниченное количество экспериментальной информации подверженной ошибкам.

При решении некорректных задач приходится использовать дополнительную информацию (ограничения) о характере искомого решения. Использование дополнительной информации количественного характера приводит к понятию квазирешения [1,2,3]. В случае использования дополнительной информации качественного характера (например, гладкость решения и т.д.) вводится понятие регуляризованного решения [1,4,5].

Частным примером механического объекта является сооружение, модель которого можно представить в виде многомассового осциллятора (рис.1).

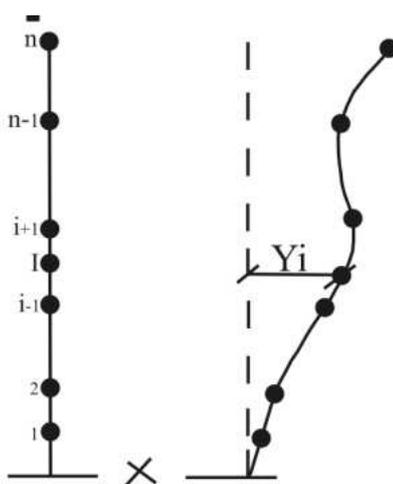


Рис.1. Многомассовый осциллятор.

Движение подобной модели может быть описано уравнением:

$$[M] \{\ddot{Y}\} + [C] \{\dot{Y}\} + [K] \{Y\} = -[M] \{\ddot{X}\}, \quad (2)$$

где $[M]$ - матрица масс (обычно диагональная);

$[C]$ - матрица жесткостей;

$[K]$ - матрица вязкого затухания;

$\{X\}$, $\{Y\}$, $\{Z\}$ - векторы относительного ускорения, скорости и перемещения соответственно;

$\{1\}$ - единичный вектор. $\{1\} = \{1, 1, \dots, 1\}$.

Умножая обе части уравнения (2) на $[M]^{-1}$, получим

$$\{\ddot{X}\} + [C^*] \{\dot{X}\} + [K^*] \{X\} = -X\{1\}, \quad (3)$$

где $[C^*] = [M]^{-1} \cdot [C]$, $[K^*] = [M]^{-1} \cdot [K]$.

Существуют достаточно много инженерных методов определения параметров модели, описываемый уравнением (3). Большинство из них определяют квазирешения, в качестве дополнительной информации выбирая некоторый функционал (целевую функцию). Решением поставленной задачи являются те коэффициенты, которые минимизируют эту целевую функцию. Надо отметить, что минимизация целевой функции может происходить, как во временной [6, 7], так и в частной [6, 8, 9] областях. Однако при использовании этого метода до сих пор не преодолены определенные трудности, связанные, прежде всего, с выбором критерия подобия модели и объекта (целевой функции), а также построением вычислительной процедуры, устойчивой к локальным минимумам.

В последнее время авторами был предложен довольно простой инженерный метод определения параметров модели, использующий идеи как метода квазирешений, так и регуляризованных решений [10-13].

Будем искать все такие значения коэффициентов $[C_{ij}^*]$ и $[K_{ij}^*]$, элементов матриц $[C^*]$ и $[K^*]$ соответственно, которые удовлетворяют в какой-то момент времени уравнению

$$\{\ddot{\tilde{X}}\} + [C^*] \{\dot{\tilde{X}}\} + [K^*] \{\tilde{X}\} = -X\{1\} \quad (4)$$

где $\{\tilde{Y}\}$, X - значения выходного и входного сигнала, отличающимся от величин $\{Y\}$ и X , так что

$$\rho_Y(\{\tilde{Y}\} - \{Y\}) \pi \delta; \quad \rho_X(\tilde{X} - X) \pi \delta, \quad (5)$$

где δ - ошибка измерений;

$\rho_Y(\dots)$ - выбранная норма пространства векторов $\{Y\}$;

$\rho_X(\dots)$ - выбранная норма пространства X .

Из анализа этой области в каждый конкретный момент времени, совокупности полученных областей, с привлечением дополнительной информации количественного и качественного характера, и определяются искомые параметры.

Действительно, если на сооружении, модель которого описывается уравнением (3), производить регистрацию кинематических параметров движения в местах сосредоточения масс и на фундаменте тогда, подставив значения этих кинематических величин в $2n^2 + 1$ моменты времени в (3), и представляя матричное уравнение как систему уравнений, получим систему $2n^2 + 1$ алгебраических уравнений для определения $2n^2 + 1$ неизвестных c_{ij}^* , k_{ij}^* (c_{ij}^* и k_{ij}^* - элементы матриц и $[C^*]$ и $[K^*]$ соответственно):

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{11_1}^* y_1 + c_{12_1}^* y_2 + \dots + c_{1n_1}^* y_n + k_{11_1}^* y_1 + k_{12_1}^* y_2 + \dots + k_{1n_1}^* y_n = -y_{1_1} \\ c_{21_1}^* y_1 + c_{22_1}^* y_2 + \dots + c_{2n_1}^* y_n + k_{21_1}^* y_1 + k_{22_1}^* y_2 + \dots + k_{2n_1}^* y_n = -y_{1_2} \\ \dots \\ c_{n1_1}^* y_1 + c_{n2_1}^* y_2 + \dots + c_{nn_1}^* y_n + k_{n1_1}^* y_1 + k_{n2_1}^* y_2 + \dots + k_{nn_1}^* y_n = -y_{1_n} \\ \dots \\ c_{11_d}^* y_1 + c_{12_d}^* y_2 + \dots + c_{1n_d}^* y_n + k_{11_d}^* y_1 + k_{12_d}^* y_2 + \dots + k_{1n_d}^* y_n = -y_{d_1} \\ c_{21_d}^* y_1 + c_{22_d}^* y_2 + \dots + c_{2n_d}^* y_n + k_{21_d}^* y_1 + k_{22_d}^* y_2 + \dots + k_{2n_d}^* y_n = -y_{d_2} \\ \dots \\ c_{n1_d}^* y_1 + c_{n2_d}^* y_2 + \dots + c_{nn_d}^* y_n + k_{n1_d}^* y_1 + k_{n2_d}^* y_2 + \dots + k_{nn_d}^* y_n = -y_{d_n} \end{array} \right. \quad (6)$$

где $e_{1_1} = e_{1_2} = \dots = e_{1_n}$, $d = 2n$, а индекс слева у величин e_{y_i} , e_{y_1} , e_{y_2} , e_{y_n} , e_{y_i}

обозначает порядковый номер момента времени, для которого взяты эти величины.

Учитывая, что вместо величин $\{y\}$ в результате инженерно-сейсмометрических наблюдений получены величины $\{\tilde{y}\}$, удовлетворяющие: неравенству (5), т.е. вместо y_i, y_1, y_2, y_n, y_i мы имеем, соответственно, $y_i \pm \delta y_i, y_1 \pm \delta y_1, y_2 \pm \delta y_2, y_n \pm \delta y_n, y_i \pm \delta y_i$, где $\delta y_i, \delta y_1, \delta y_2, \delta y_n, \delta y_i$ - предполагаемые ошибки определения соответствующих величин, а из системы уравнений (6) мы можем получить следующую систему алгебраических неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_j^n [\max(c_{ij_e}^* y_j + \max(k_{ij_e}^* y_j)] \leq \max(-e_{y_i}) \\ \sum_j^n [\min(c_{ij_e}^* y_j + \min(k_{ij_e}^* y_j)] \geq \min(-e_{y_i}) \\ i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, 2n \end{array} \right. \quad (7)$$

Система неравенств (7) определяет множество Q_δ (δ ошибка определения исходных данных) всех возможных решений системы (6). Для того, чтобы возможно было устойчивое исследование области, определяемой системой (7), необходимо привлечь дополнительную информацию о характере элементов матриц $[c^*], [k^*]$. Это может быть следующая система неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{k}_{ij}^* \leq k_{ij}^* \leq \tilde{k}_{ij}^* \\ \underline{c}_{ij}^* \leq c_{ij}^* \leq \tilde{c}_{ij}^* \end{array} \right. \quad (8)$$

где $\underline{k}_{ij}^*, \tilde{k}_{ij}^*, \underline{c}_{ij}^*, \tilde{c}_{ij}^*$ - минимальное и максимальное значение соответствующих коэффициентов, определение которых возможно, исходя из предварительного изучения свойств сооружения и из опыта.

Чтобы упростить систему (7), воспользуемся следующими соображениями. Рассмотрим систему, представленную на рисунке (1), а также воспользовавшись свойствами и физическим смыслом матрицы жесткости $[K]$ этой системы, можно определить знак элементов этой матрицы:

$$sign(k_{ij}) = (-1)^{i+j}, \quad (9)$$

а, следовательно, если предположить что матрица $[M]$ - диагональная или близка к этому виду (т.е. по отношению к диагональным элементам все остальные достаточно малы), то

$$\text{sign}(k_{ij}^*) = (-1)^{i+j} \quad (10)$$

Предположим, что так как коэффициенты c_{ij} имеют ту же силовую природу, что и k_{ij} , скорость i -той массы оказывают на j -тую такое же влияние как и соответствующие перемещения, т.е.

$$\text{sign}(c_{ij}^*) = \text{sign}(k_{ij}^*) = (-1)^{i+j}. \quad (11)$$

Используя гипотезу (11), а также объединяя системы (7) и (8) получим:

$$\begin{cases} \sum_j^n [|c_{ij}^*|_{\max} ((-1)^{i+j} Y_j) + |k_{ij}^*|_{\max} ((-1)^{i+j} Y_j)] \leq_{\max} (-e \frac{g}{\Gamma_i}) \\ \sum_j^n [|c_{ij}^*|_{\min} ((-1)^{i+j} Y_j) + |k_{ij}^*|_{\min} ((-1)^{i+j} Y_j)] \geq_{\min} (-e \frac{g}{\Gamma_i}) \\ \underline{k}_{ij}^* \leq k_{ij}^* \leq \tilde{k}_{ij}^* \\ \underline{c}_{ij}^* \leq c_{ij}^* \leq \tilde{c}_{ij}^*, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, 2n. \end{cases} \quad (12)$$

Решая задачу линейного программирования, минимизируя последовательно функционалы $L = \pm |c_{ij}^*|$, $L = \pm |k_{ij}^*|$ по области, определяемой системой неравенств (12), получим предельные границы области Q_δ (предельные возможные значения величин c_{ij}^* , k_{ij}^*).

В результате получаем систему интервалов c_{ij}^* и k_{ij}^* , внутри которых заключены значения этих коэффициентов, удовлетворяющие системе (6) при условии (5). Повторяя описанную процедуру для других моментов времени, получаем систему интервалов $\{c_{ij} \pm \delta c_{ij}\}$, $\{k_{ij} \pm \delta k_{ij}\}$. На основе этих интервалов можно построить гистограммы, представляющие собой значения количества попаданий искомой величины в некоторый промежуток (рис. 3). Этим гистограммам можно придать смысл плотности вероятности распределения k_{ij} и c_{ij} . На основе таких гистограмм можно построить как статистическую модель, так и детерминированную.

Получаемые, таким образом, коэффициенты k_{ij}^* и c_{ij}^* полностью описывают поведение модели, интегрируя всю сложность работы сооружения: нелинейность, пространственность, качество и др. эффекты. В то же время k_{ij}^* и c_{ij}^* полностью описывают текущее состояние модели независимо от того, как модель пришла в это состояние.

Если ограничиться простейшим случаем, когда модель сооружения представлена в виде одномассового осциллятора (рис. 2) и описывается следующим уравнением:

$$2\varepsilon\omega_0 y + \omega_0^2 y = -g, \quad (13)$$

где y , \dot{y} и \ddot{y} - относительное ускорение, скорость и перемещение сосредоточенной массы соответственно;

ω_0 - частоты свободных колебаний системы;

ε - коэффициент затухания системы (в % от критического),

то в этом примере систему (12) можно разрешить и написать в замкнутом виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\min \frac{P_2}{P_3}} \leq \omega_0 \leq \sqrt{\max \frac{P_2}{P_3}}, \\ \frac{\min \frac{P_1}{P_3}}{2 \cdot \sqrt{\max \frac{P_2}{P_3}}} \leq \varepsilon \leq \frac{\min \frac{P_1}{P_3}}{2 \cdot \sqrt{\min \frac{P_2}{P_3}}}, \\ \omega_{\min} \leq \omega_0 \leq \omega_{\max}, \\ \varepsilon_{\min} \leq \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{\max}, \end{array} \right. \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} P_1 &= y_1(\omega_2 + \omega_2) - y_2(\omega_1 + \omega_1) \\ P_2 &= \omega_2(\omega_1 + \omega_1) - \omega_2(\omega_2 + \omega_2) \\ P_3 &= \omega_1 \omega_2 - \omega_1 y_1. \end{aligned} \quad (15)$$

При идентификации конкретных моделей использовалась связь между собственной частотой колебаний и собственным периодом:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \quad (16)$$

и строились гистограммы для параметров T и ε , на основе которых получали те или иные модели.

Представленная методика позволяет выявить также и некоторые особенности работы сооружений:

- нелинейность - если рассматривать зависимость параметров c_{ij}^* и k_{ij}^* от величин входного воздействия или реакции;
- деградация жесткости элементов конструкции - если рассматривать параметры k_{ij}^* в зависимости от участка записи;
- пространственный характер работы сооружения - если рассматривать изменение коэффициента c_{ij}^* и k_{ij}^* в зависимости от направления относительного смещения.

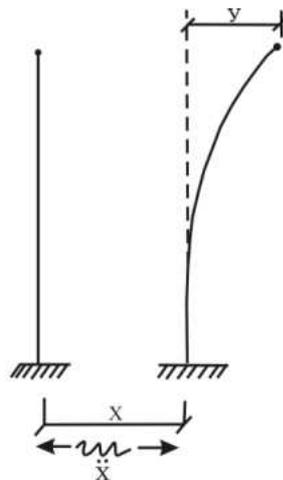


Рис.2 Одномассовый осциллятор.

Одним из достоинств, представленного метода, является возможность создания статистических моделей сооружений, создание которых становится актуальной задачей теории сейсмостойкости.

Имея, описанные выше гистограммы собственных периодов (в случае одномассовой модели) для различных интервалов смещения, можно определить параметры плотности вероятности F_T для каждого интервала. Анализ этих плотностей позволяет определить плотность вероятности $F_T(y)$ в зависимости от y . Затем для каждого уровня интенсивности y , задаются конкретные периоды собственных колебаний, и для них строят гистограммы коэффициентов затухания. Для каждого уровня интенсивности находим зависимость плотности вероятности коэффициентов затухания F_ε от собственного периода, т.е. $F_\varepsilon(T)$. Имея зависимости $F_\varepsilon(T)$ для различных интервалов смещения y , можно определить зависимость плотности вероятности коэффициента затухания как от T , так и от y , т.е. можем найти $F_\varepsilon(T, y)$.

Таким образом, получаем статистическую динамическую модель сооружения (для одно-массового осциллятора) в виде двух связанных статистических законов $F_T(y)$ и $F_\varepsilon(T, y)$, описывающих изменение динамических параметров сооружения во время землетрясения.

ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Детерминированный случай.

Описанным методом определялись модели пятиэтажного крупнопанельного жилого здания в г. Петропавловске-Камчатском, на котором были получены записи кинематических параметров фундамента и покрытия при землетрясении 2 декабря 1977 г. (интенсивностью 5 баллов по шкале MSK-64) в двух направлениях и 21 декабря 1977 г. (интенсивностью 4 балла) в направлении короткой оси здания. Условимся в дальнейшем короткую ось здания называть осью X, а длинную - осью Y.

Были построены гистограммы для коэффициентов T и ε в зависимости от величины относительного смещения покрытия y . Пример полученных гистограмм для коэффициента T приведен на рисунке 3.

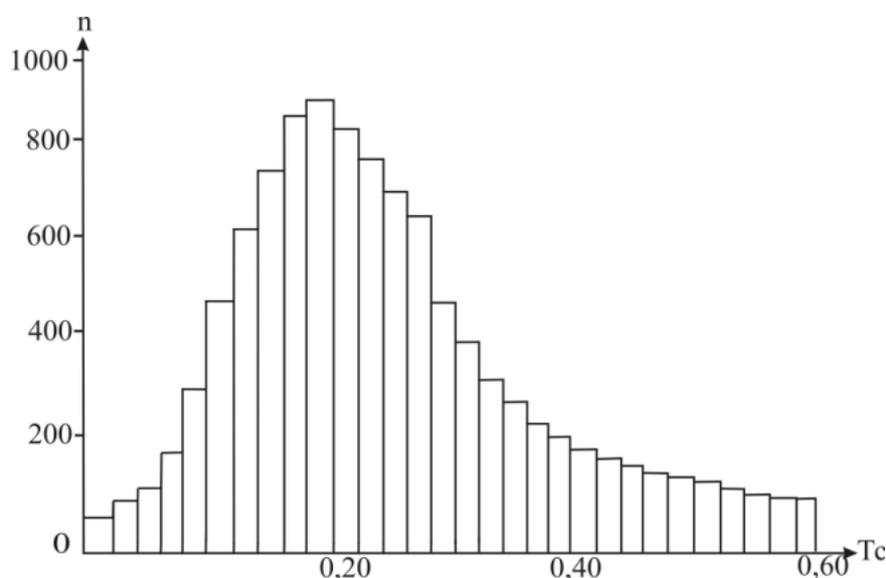


Рис.3. Гистограмма для периода собственных колебаний.

На основе максимальных значений вычисленных гистограмм была найдена зависимость периода собственных колебаний T от величины смещения покрытия относительно фундамента y (рис.4).

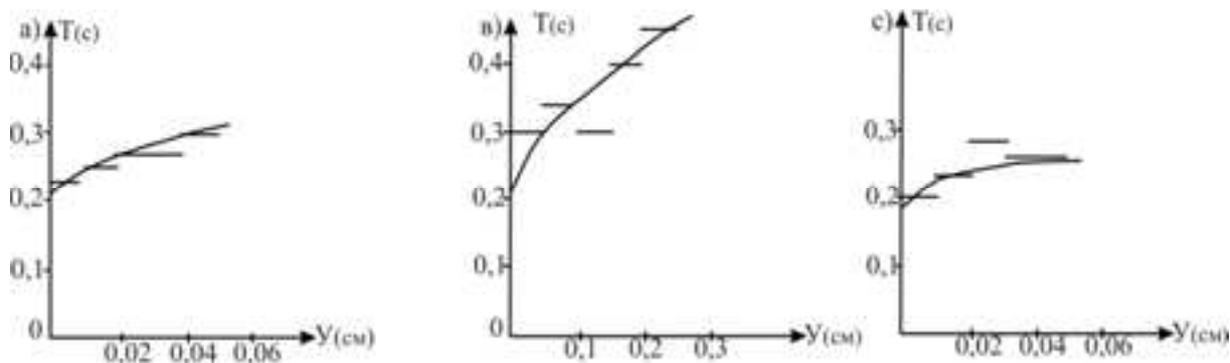


Рис.4. Зависимости периода T от y для: а) землетрясения 21.12.77 ось X ; б) землетрясения 2.12.77, ось X ; в) землетрясения 2.12.77, ось Y .

Представленные экспериментальные данные аппроксимировались зависимостью вида

$$T = ay^b + c.$$

В результате получены следующие выражения:

$$T = 0,594|y|^{0,654} + 0,21,$$

$$T = 0,189|y|^{0,399} + 0,19, \quad (17)$$

для оси X и Y , соответственно.

Для данного здания были получены значения периода собственных колебаний T экспериментальным путем с помощью оттяжки и последующего резкого сброса нагрузки (так называемый метод оттяжки), что до сих пор является наряду с параметрами полученными в результате вычислений, исходными данными при расчете сооружения на сейсмическое воздействие:

($T=0,23$ с. для оси X и $T=0,22$ с. для оси Y).

Из сравнения этих результатов видно, что значения, получаемые "методом оттяжки", являются фактически начальными параметрами для выражений (17). Тогда, как видно из (17), с возрастанием амплитуд колебаний, период собственных колебаний здания увеличивается, что ведет к фактическому снижению нагрузки при расчете сооружений по СНиП за счет уменьшения величины коэффициента динамичности β . Таким образом, уже при малых сейсмических нагрузках при землетрясениях силой 4-5 баллов, работа сооружения является нелинейной, и период собственных колебаний, фактически, в значительной степени зависит от их амплитуды.

Исходные данные по которым строились модели обладают сильными шумами, что в первую очередь сказывается при определении коэффициента \mathcal{E} , т.к. ошибка в определении этого параметра сравнима с самой величиной \mathcal{E} .

Поэтому при нахождении реакции модели предполагалось, что коэффициент вязкого затухания \mathcal{E} изменяется в пределах от 2 % до 15 % от критического. Эта величина, полученная при испытаниях "методом оттяжки" была равна соответственно 5,6 % и 3,2 % для оси X и Y . Для сравнения были вычислены реакции следующих моделей:

1) линейной с коэффициентами, полученные "методом оттяжки";

$T=0,23$ с. $\mathcal{E}=0,056$ для оси X и

$T=0,22$ с. $\mathcal{E}=0,032$ для оси Y .

2) линейной так называемыми "эффективными" коэффициентами, т.е. такими, которые соответствуют максимальным отклонениям здания от оси и наилучшим образом должны описывать состояние объекта в точках максимального отклонения сооружения от оси, без учета предыстории загрузки;

$T=0,30$ с. , $\mathcal{E}=0,04$ - при воздействии силой 4 балла,

$T=0,40$ с. , $\mathcal{E}=0,056$ - при воздействии силой 5 баллов для оси X и

$T=0,25$ с., $\varepsilon=0,10$ - при воздействии силой 5 баллов для оси У.

3) нелинейная модель с представленными выше зависимостями периода T от относительного смещения модели.

Вычисленные реакции в виде смещения описанных моделей и записи смещений, полученные на покрытии, представлены на рис. 5. Как видно из рисунка, наибольшим сходством с записью на покрытии обладает смещение нелинейной модели и хуже остальных описывает эту запись реакция линейной модели с коэффициентами, определенных "методом оттяжки".

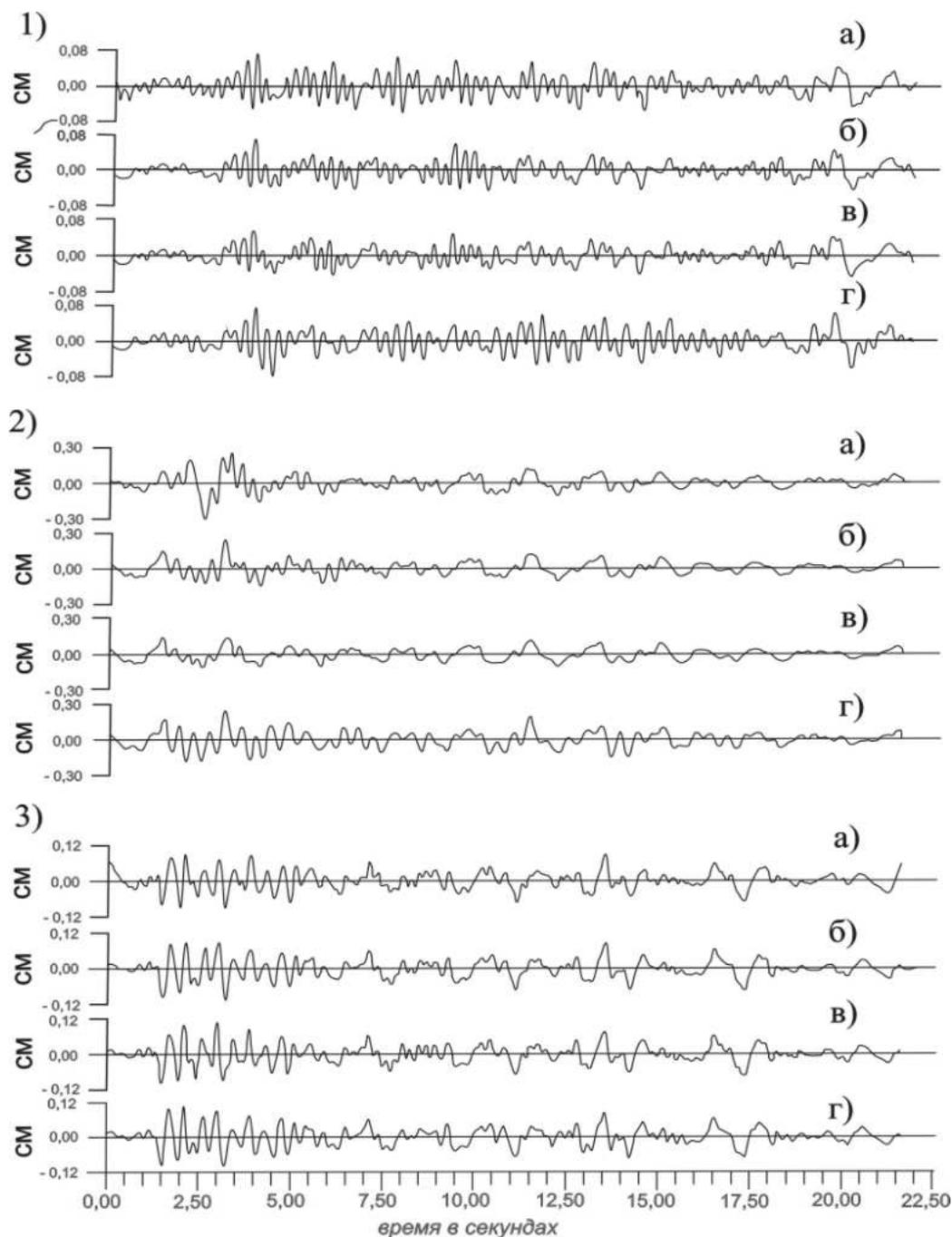


Рис. 5. Графики смещений, полученные для землетрясений: 1) 21.12.1977, ось X; 2) 2.12.1977, ось X; 3) 2.12.1977, ось Y; а) запись на покрытии сооружения, б) реакция на линейной модели (на основе предложенного метода) в) линейная модель с параметрами полученные "методом оттяжки"; г) реакция линейной модели о эффективными.

Была также предпринята попытка на основе гистограмм, аналогичных изображений на рис. 3, построить статистическую динамическую модель сооружения. На рис. 6 представлены анализировавшиеся гистограммы для воздействия силой 5 баллов. Анализ этих гистограмм позволяет сделать вывод, о том, что они могут быть для каждого уровня интенсивности описаны с помощью нормального закона

$$F_T = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_T} e^{-\frac{(T-\mu_T)^2}{2\sigma_T^2}}, \quad (18)$$

причем μ_T и σ_T , определяющие в каждом таком случае соответствующий нормальный закон распределения в зависимости от y могут быть описаны выражениями:

$$\mu_T(y) = ay^b + c \quad \text{и} \quad \sigma_T(y) = ey + d, \quad (19)$$

где $a=0,594$, $b=0,654$, $c=0,21$, $e=0,45$, $d=0,07$ (для рис. 6).

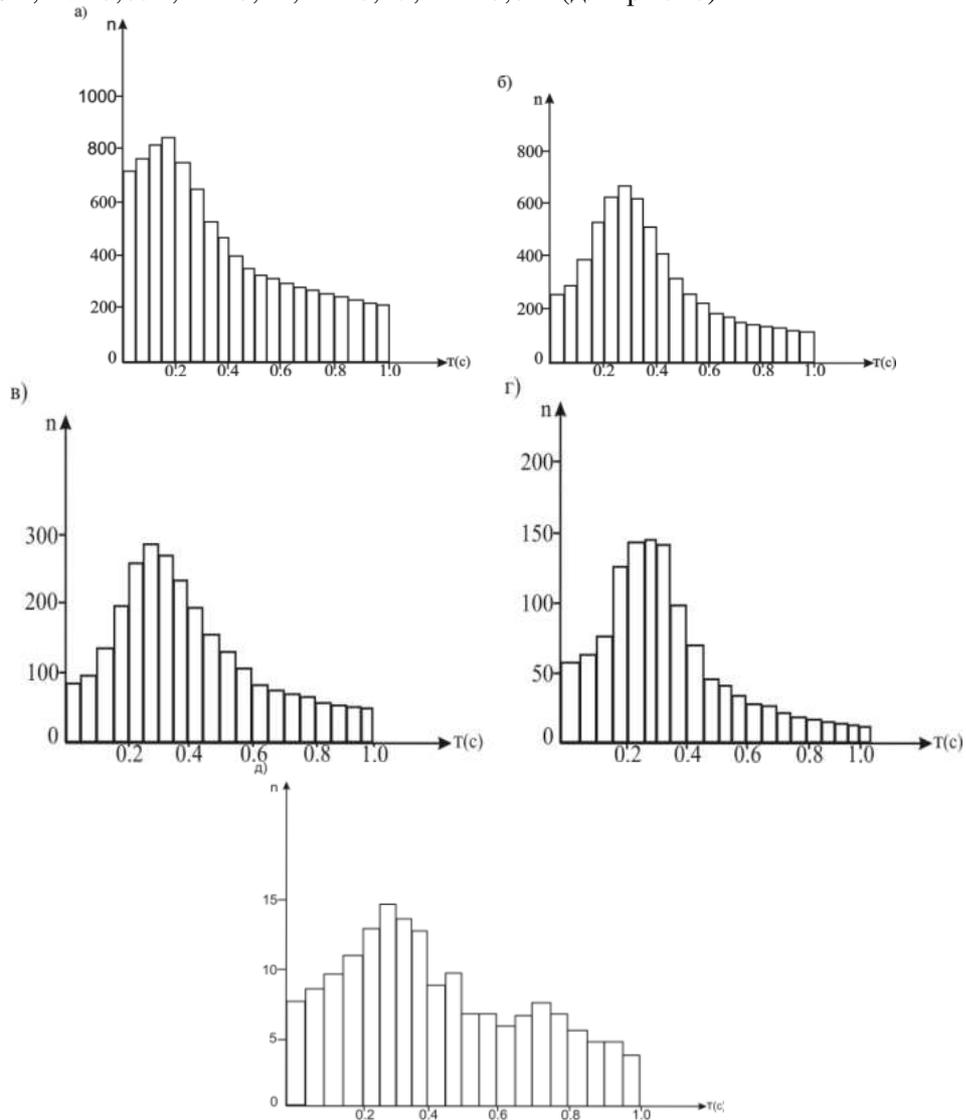


Рис. 6. Гистограммы для периодов собственных колебаний при разных уровнях деформаций y (см) для землетрясения 2.12.77г., интенсивностью 5 баллов, ось Y : а) $0,0 < y \leq 0,01$; б) $0,01 < y \leq 0,02$; в) $0,03 < y \leq 0,03$; г) $0,03 < y \leq 0,04$; д) $0,04 < y \leq 0,05$.

Таким образом, для статистического описания изменения собственного периода осциллятора в зависимости от y получаем на основе выражений (18) и (19) закон $F_T(y)$.

Анализ гистограмм построенных для коэффициента затухания с учетом работы [11] по тем же данным указывает на то, что в области реальных значений коэффициента затухания его распределение соответствует также нормальному закону и что его среднее значение и дисперсия в зависимости от T и y могут быть описаны выражениями:

$$\mu_{\varepsilon}(T, y) = (0,42e^{-20y} + 0,35)T, \quad (20)$$

$$\sigma_{\varepsilon}(T, y) = 0,08T^2. \quad (21)$$

Следует отметить, что по анализировавшимся исходным данным получено, что дисперсия σ_{ε} не зависит от уровня деформации. Таким образом, для статистического описания поведения сооружения может быть использована статистическая модель с нормальными законами распределения $F_T(y)$, $F_{\varepsilon}(T, y)$ и значениями параметров, описанных выражениями (20) и (21).

Для реализации описанных выше статистических динамических моделей, строятся нестационарные статистические модели сейсмических воздействий [13-19]. Таким образом, изложенная практическая методика построения статистических динамических моделей зданий или сооружений и сейсмических воздействий позволит вывести расчеты зданий на сейсмостойкость с обоснованием надежности полученных расчетов. Для получения статистических данных по идентификации динамических характеристик и сейсмических нагрузок для зданий и сооружений по акселерограммам землетрясений, конечно же, надо восстановить инженерно-сейсмометрическую службу [20-23]. В последнее время сотрудниками института исследуются динамические параметры грунта геофизическими методами [24-27]. Стационарные инженерно-сейсмометрические станции с грунтовыми точками решали многие задачи в сейсмостойком строительстве, в том числе задачи сейсмического микрорайонирования городов и крупных населенных пунктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в работе методика построения динамических моделей сооружения на основе инженерно-сейсмометрической информации позволяет строить как детерминистские, так и статистические динамические модели сооружений и использовать их в расчетах сооружений на сейсмостойкость, основанных на детерминистских и статистических подходах. Подобная методика применима и для экспериментальных исследований сооружений с использованием динамических испытаний. Особенно актуальна эта методика в современное компьютеризованное время, когда вся информация поведения здания или сооружения полностью в цифровом пространственном виде можно использовать при расчетах на сейсмостойкость, что позволит вывести расчет сооружений на сейсмостойкость на уровень теории надежности. Однако работы по идентификации по добных расчетных моделей практически отсутствуют.

Литература

1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Д. Методы решения некорректных задач, Москва, Наука, 1969.
2. Иванов В.К. О линейных некорректных задачах.// ДАН СССР, т.145(2), 1962.
3. Иванов В.К. О некорректно поставленных задачах.// Мат. Сборник, 61(2), 1963.
4. Тихонов А.П. О решении некорректно поставленных задач.// ДАН СССР, т.151(3), 1963.
5. Тихонов А.П. О регуляризации некорректно поставленных задач.// ДАН СССР, т. 153(3), 1963.
6. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. М., Энергия, 1979, -240 с.
7. Cifuentus O.A. System identification of hysteretic structure, BBRL 84-04, Pasadena, 1984.
8. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Яковлев В.П. Идентификация механических систем. Киев, Наукова Думна, 1985.
9. Цейтлин А.И., Атаев М. Определение характеристик сооружений по результатам динамических испытаний. Строительная механика и расчет сооружений, Москва, 1975, № 6.
10. Денисов Б.Е., Дорофеев В.М. и др. Инженерно-сейсмометрическая служба СССР. М., Наука, 1967.

11. Денисов Б.Е., Дорофеев В.М., Погосян О.К. Определение динамических характеристик строительных конструкций по данным инженерно-сейсмометрических станций // Известия АН Арм.ССР, серия технических наук, т. XXXV, № 6, 1983. С.47-50.
12. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Zeldin B.A., Mamaev S.A., Shumicheva O.V. Method of parameter determination of dynamic structure models based on engineering-seismometric data. // Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. –Moscow, 1990, vol. 8-p. 321-332.
13. Мамаев С.А. Оценка статистической динамической модели здания и статистической модели сейсмического воздействия на основе инженерно-сейсмометрической информации // Дисс. на соискания ученой степени к.т.н. ЦНИИСК им.Кучеренко. Москва. 1991, 1991. -145 с.
14. Дорофеев В.М., Дорофеева Л.Н., Мамаев С.А. Модель 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений с эффективной длительностью около 10 с. Строительная механика и расчет сооружений. 1990. № 4. С. 42-47.
15. Dorofeev V.M., Dorofeev L.N., Mamaev S.A., Rusol E.I. Statistical modeling of seismic effects for earthquake-resistant of structures. //Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. – Moscow, 1990, vol. 4. А-р. 140-151.
16. Мамаев С.А., Дорофеев В.М. Численное статистическое моделирование 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2002. № 48. С. 97-103.
17. Мамаев С.А. Численное статистическое моделирование сейсмических воздействий //Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2003. № 15. С. 35-44.
18. Дорофеев В.М., Дорофеева Л.Н., Мамаев С.А. Модель 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений с эффективной длительностью около 10 с //Строительная механика и расчет сооружений. 1990. № 4. С. 42-47.
19. Мамаев С.А., Дорофеев В.М. Численное статистическое моделирование 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2002. № 48. С. 97-103.
20. Черкашин В.И., Дорофеев В.М., Крамынин П.И., Магомедов Р.А., Мамаев С.А., Никуев Р.Ю. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан //Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2003. № 14. С. 25-37.
21. Гурьев В.В., Дорофеев В.М., Дмитриев А.Н., Панкратов Е.П., Лепешкина Е.А. Об экономических проблемах и механизмах реновации и реконструкции пятиэтажной застройки //Экономика строительства. 2018. № 1 (49). С. 3-17.
22. Дорофеев В.М., Федоров Н.Н., Сурков В.И., Курзанов А.М. О мониторинге технического состояния зданий //Промышленное и гражданское строительство. 2003. № 11. С. 31-32.
23. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Абакаров А.Д., Таймазов М.Д. О состоянии и перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана //Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2013. № 51. С. 36-42.
24. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С., Мамаев А.С. Применение электронных баз данных в геологических исследованиях //Геология и геофизика Юга России. 2018. № 4. С. 104-116.
25. Мамаев С.А. Исследование динамических свойств грунтов геофизическими методами при уточнении сейсмичности площадки строительства //В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. редактор. 2011. С. 320-331.
26. Мамаев С.А. Экспериментальные исследования динамических свойств грунтов геофизическими методами и их инженерно-геологическая интерпретация при уточнении сейсмичности площадки строительства //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2006. № 50. С. 222-230.
27. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Мамаев А.С., Маммаева Ж.А. К вопросу перевода прогноза землетрясений на количественную основу //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2017. № 71. С. 68-71.

УДК: 551.763.12

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-29-33

БИОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАСЕЙНОВ ДАГЕСТАНА В НИЖНЕМЕЛОВУЮ ЭПОХУ

Исаева Н.А.
Институт геологии ДФИЦ РАН

В статье рассмотрены вопросы выявления сущности палеоэкологических изменений и вызывавших их причин на основе комплексного анализа микробиоты. В одном из наиболее полных разрезов мела Восточного Кавказа у с.Аймаки изучен апт-альбский интервал, включающий отложения, обогащенные органическим веществом (ОВ) и отвечающие глобальным событиям - это раннеаптское событие Selli (OAE1a), ряд эпизодов позднеаптского – раннеальбского события Jacob, Paguier (OAE1b), позднеальбское событие Toolebuc (OAE1c) и Breistroffer (OAE1d). Установлено, что данные по количественному распределению фораминифер в апт-альбских отложениях разреза Аймаки указывают на заметные изменения в бассейне палеоэкологических обстановок Восточного Кавказа.

Ключевые слова: микробиота, палеоэкология, биостратиграфия, аноксидные события, эвстатические колебания уровня бассейна.

BIONOMIC CONDITIONS OF DAGESTAN POOLS IN THE LOWER CRETACEOUS AGE

Isaeva N.A.
Institute of geology by FRC RAS of Dagestan

The article considers the issues of revealing the essence of paleoecological changes and their causes based on a comprehensive analysis of microbiota. The Aptian-Albian interval was studied in one of the most complete Cretaceous sections of the Eastern Caucasus near Aymaki, including deposits enriched with organic matter (OM) and corresponding to global events - this is the Early Aptian Selli event (OAE1a), a series of episodes of the late Aptian - Early Albian event Jacob, Paguier (OAE1b), the late Albian event Toolebuc (OAE1c) and Breistroffer (OAE1d). It has been established that the data on the quantitative distribution of foraminifera in the Aptian-Albian deposits of the Aymaki section indicate significant changes in the paleoecological basin of the Eastern Caucasus.

Keywords: microbiota, paleoecology, biostratigraphy, anoxic events, eustatic fluctuations of the basin level.

В последнее десятилетие изучение глобальных аноксических событий мела и палеогена стало одним из приоритетных направлений в изучении истории Земли. В связи с наблюдающимся в настоящее время резким потеплением климата, все более остро встает проблема прогнозирования возможных биосферных изменений, поэтому геологами самых разных специальностей уделяется огромное внимание изучению палеоэкологических кризисов прошлого, выявлению их причин, развитию и последствий. Наиболее общими для этих событий признаками являются резкое потепление, значительные кислородно- и углеродно-изотопные аномалии, заметные перестройки в составе морской биоты, широкое распространение осадков, обогащенных органическим веществом. Большинство перечисленных признаков ассоциируется с довольно резкими колебаниями уровня моря.

В связи с этим современной наукой проявляется большой интерес к выявлению и выяснению причин палеоэкологических кризисов прошлого. На каждом этапе геологического развития происходило изменение конфигурации бассейнов, их глубины, солености, температурного и газового режимов, что отражалось на качественном и количественном составе комплексов фораминифер. Немаловажную роль на территории Восточного Кавказа сыграли тектонические движения, проявившиеся в меловом периоде которые обуславливали смену палеогеографических обстановок.

Проблема развития аноксидных обстановок в палеоводоемах является интересной и актуальной, т.к. эти обстановки влияли на основные характеристики бассейнов: резко менялась геохимия вод и осадков, оказывалось существенное влияние на морскую биоту. Аноксидные обстановки могли одновременно развиваться в разных водоемах Земли, в таких случаях возникали ширококомасштабные экологические кризисы. В связи с этим уделяется большое внимание проблеме прогнозирования возможных биосферных изменений и изучению палеоэкологических кризисов прошлого, оценки реакции биоты на экологические события. Динамика изменения состава фораминиферных ассоциаций позволяет проводить реконструкции палеогеографии и палеоклимата их местообитания.

Исследования последних лет показали, что в мезозойской истории имели место аноксидные события, запечатленные в осадочных толщах в литолого-геохимических и палеоэкологических характеристиках. Так, в среднемеловой (апт-туронской) последовательности Восточного Кавказа выявлена ярко выраженная серия пластов, обогащенных органическим веществом, отвечающих разным эпизодам «Океанических Аноксидных Событий» (ОАЕ), в ходе которых отмечены резкие перестройки в составе биоты и режиме седиментации.), среднесеноманское и позднесеноманское событие Это раннеаптское событие Selli (ОАЕ1а), ряд эпизодов позднеаптского – раннеальбского события Jacob, Paguier (ОАЕ1b), позднеальбское событие Тоolebus (ОАЕ1с) и Breistroffer (ОАЕ1d Bonarelli (ОАЕ2) [Щербина и др., 2005]. В ходе глобальных событий происходили значительные палеоклиматические и палеоокеанографические изменения, повлекшие за собой перестройки в составе морской и наземной биоты, а также режиме седиментации. В связи с этим, актуальной проблемой является необходимость выявления точной последовательности всех биотических и абиотических изменений в ходе отдельных палеоэкологических кризисов и установление их взаимозависимости. В ходе глобальных событий увеличение числа вымирающих и возникающих видов отмечаются непосредственно перед собственно «аноксидным событием», а также сразу после него. Как показали предварительные исследования внутри отложений, обогащенных органическим веществом, наблюдаются только резкие количественные изменения в численности и соотношениях разных таксонов.

Палеоэкологическое изучение динамики изменений комплексов основных групп микробиоты включает статистический, биометрический и морфологические анализы. Уже давно показана приуроченность различных групп бентосных фораминифер к определенным батиметрическим условиям и оксидному уровню придонных вод, что позволяет использовать их в качестве наиболее точного инструмента при анализе гидрологического режима придонных вод. Установлено вертикальное распределение отдельных родов планктонных фораминифер в толще водного столба, поэтому вариации в их составе дают информацию о гидрологии поверхностных вод бассейна [1].

Исследования последних лет позволили выявить в меловых разрезах Горного Дагестана последовательность «аноксидных» событий, которые на данном этапе их изучения можно рассматривать как субглобальные события. Меловые толщи Дагестана, по всей видимости, являются единственными в Мире, где все среднемеловые события представлены в единых осадочных последовательностях, характеризующих разные палеобатиметрические зоны бассейна (рис.1).

К ним относятся серии обогащенных органическим веществом (ОВ) горизонтов отложений, которые по результатам изучения фораминифер соответствуют следующим возрастным интервалам: верхи апта и нижнего альба которые коррелируются с аноксидным событием (Jacob, Paguier Events); нижняя часть верхнего альба – ОАЕ1с (Тоolebus Event), и верхи альба – событие ОАЕ1d (Breistroffer Event) [2].

В связи с вышеизложенным нами была проведена статистическая оценка количественных флуктуаций и изменений соотношения таксонов внутри комплексов фораминифер в ходе кон-

кретных палеоэкологических событий, а также проведено выявление таксонов-индикаторов разных параметров среды в составе ассоциаций.

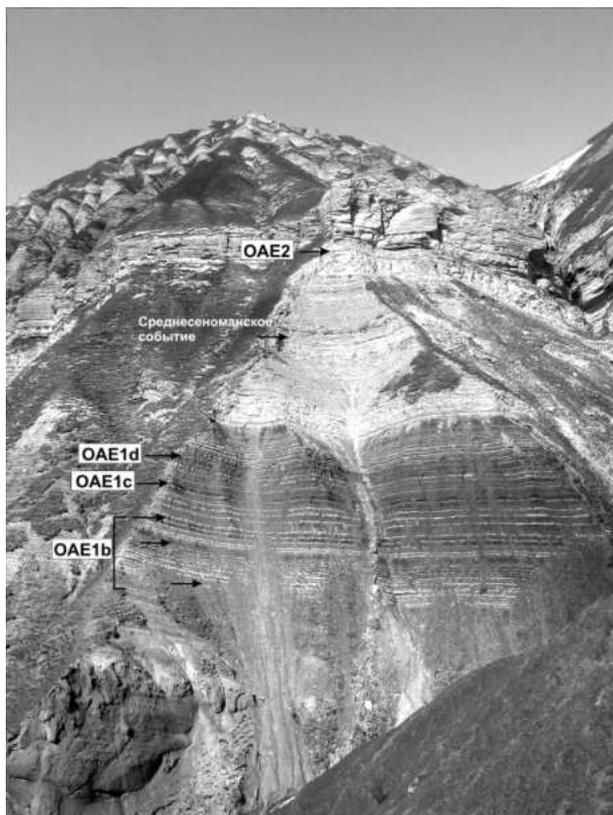


Рис. 1. Уровни меловых анаксических событий в разрезе с.Аймаки (Дагестан)

В Дагестане в нескольких разрезах – Аймаки, Леваша, Акуша и др. прослеживаются горизонты, соответствующие всем этим событиям. Микропалеонтологические характеристики отложений, соответствующих разным эпизодам событий ОАЕ1а в дагестанских разрезах существенно различны. С событием Селли связано уменьшение количества видов и родов. Данное обстоятельство связано с изменением режима существовавшего бассейна. В данном интервале заметно сокращают свое развитие такие роды как *Citharina*, *Planularia*, появляются роды *Brotzenia*, *Tritaxia*, характерно появление многочисленных особей планктонных представителей рода хедбергелла.

Начавшееся уменьшение родов и видов в нижнеаптское время, усиливается в среднем апте. Здесь снижается количество видов бентосных представителей и несколько увеличивается количество родов за счет развития планктонных форм, появляется род *Clavihedbergella*. Ввиду небольшой глубины бассейна и снижения процента растворенной извести в его водах, значительным распространением пользуются песчанистые фораминиферы, такие как роды *Ammobaculites*, *Gaudryina*, *Trochammina* и др.

С событием Селли связано резкое увеличение таксономического разнообразия планктонных фораминифер (ПФ) с удлинёнными камерами. Последовательное появление различных групп ПФ с удлинёнными камерами можно объяснить степенью их толерантности к стрессовым обстановкам. В то же время существуют некоторые различия в таксономическом разнообразии и стратиграфическом распределении ПФ во время раннеаптского события Селли. Это связано с региональными особенностями параметров водных масс: стратификация водной толщи, сезонные флуктуации, интенсивность биопродуктивности. Материалы Крыма и Северного Кавказа демонстрируют всплеск разнообразия и количественного доминирования форм с удлинёнными камерами непосредственно в раннем апте. Это выражается в увеличении таксономического разнообразия представителей родов *Leopoldina*, *Clavihedbergella*, *Blowiella* [3].

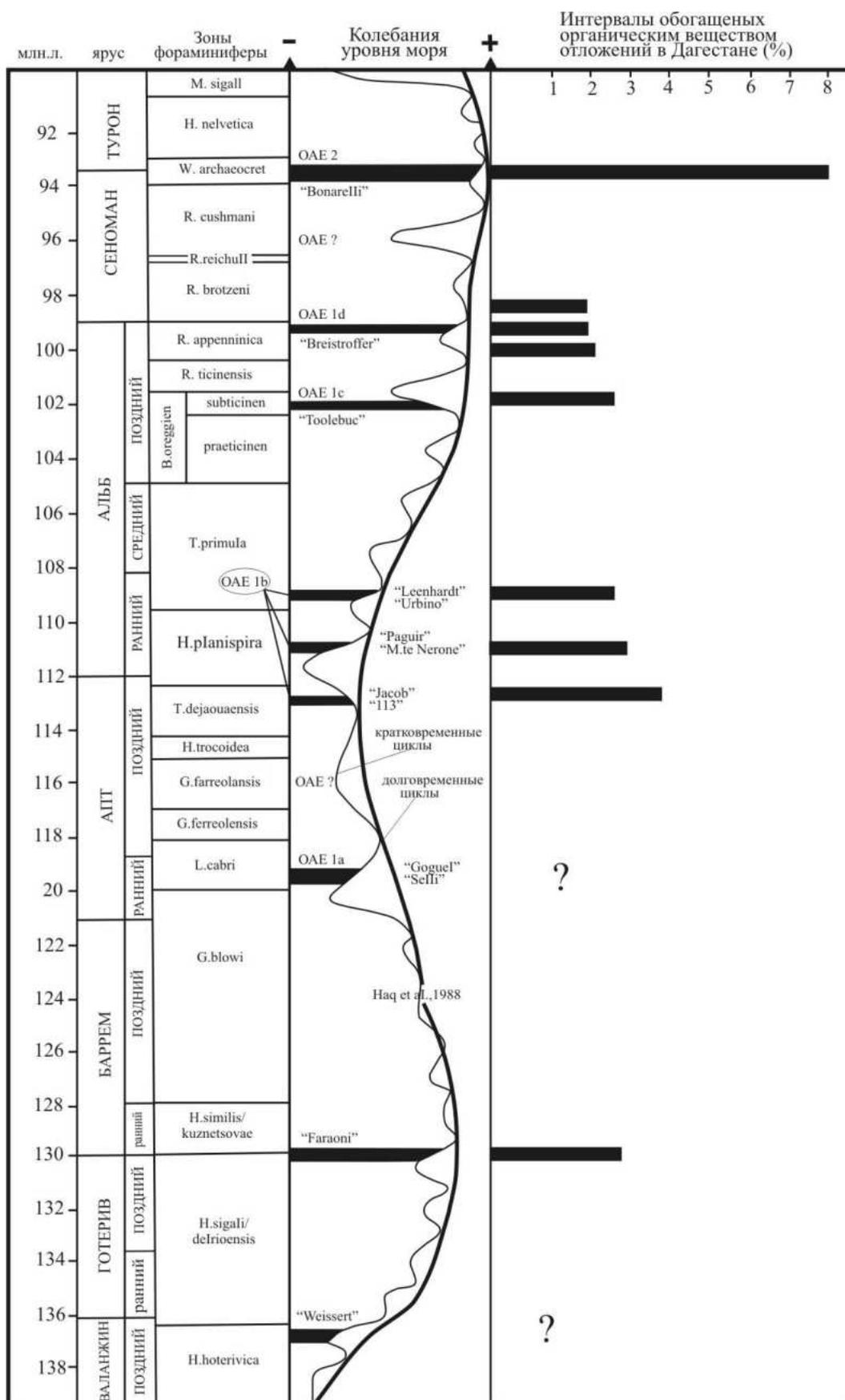


Рис. 2. Интервалы меловых аноксических событий: их проявления, корреляция с эвстатическими колебаниями уровня моря и уровни распространения обогащенных органическим веществом отложений в Дагестане [1].

Микропалеонтологические характеристики отложений, соответствующих разным эпизодам события ОАЕ1b (Jacob, Pagnier Events), в дагестанских разрезах существенно различны. Отложения характеризуются довольно разнообразной микрофаунистической ассоциацией, в которой заметную роль играют тепловодные и эвтрофные таксоны. На большей части изучаемой территории фиксируется перерыв в осадкообразовании. Перерыв в осадконакоплении свидетельствует о падении уровня моря в начале альбского века. Южные районы Дагестана и территория его современных предгорий представляла собой сушу. Центральные районы были заняты морским бассейном, характеризующимся небольшими глубинами. Здесь значительное распространение получили эпистоминиды, аномалиниды, появляется род *Pleurostomella*, лентикулины представлены несколькими родами, при этом отмечается многочисленность особей каждого вида.

Позднеальбские события Тоолебус (ОАЕ1с) и Вреистроффер (ОАЕ1d) в разрезах Дагестана сопровождались заметным сокращением бентосных фораминифер вплоть до полного отсутствия. Отложения верхнего альба по составу комплексов фораминифер делятся на две различающиеся части. Нижняя часть характеризуется комплексом, сходным со среднеальбским, а верхняя часть представлена исключительно планктонными формами. Здесь заканчивают существование многие роды, такие как род *Citharina*, *Planularia*, *Tristix*, *Marginulina* и другие. Появляется род *Neobulimina*, неизвестный ни в нижележащих, ни в вышележащих отложениях. В конце рассматриваемого стратиграфического интервала в ходе аноксических эпизодов Тоолебус (ОАЕ1с) и Вреистроффер (ОАЕ1d) для жизни бентосных фораминифер сложились неблагоприятные условия. В этих отложениях бентосных фораминифер нами не обнаружено (рис.2).

Планктонные формы здесь изобилуют, но представлены они родами – *Hedbergella*, *Ticinella* и *Thalmaninella*, характеризующиеся мелкими размерами раковин [4].

Таким образом, данные изучения микропланктона переходного апт-альбского интервала указывают на заметные изменения в бассейне палеоэкологических обстановок Восточного Кавказа. В позднеаптское время бассейн представлял собой теплый мелководный эвтрофный водоем, характеризующийся обильной поставкой терригенного материала. В ходе трансгрессии конца апта произошло накопление обогащенных органическим веществом осадков. После относительно кратковременного падения уровня моря в начале альба, по-видимому, начинается углубление бассейна, сопровождавшееся изменениями седиментационного режима. Вследствие этого значительно обновляются ассоциации микропланктона, становятся более многочисленными и разнообразными, что отвечает более олиготрофным обстановкам открытого моря.

Литература

1. Гаврилов Ю.О., Щербинина Е.А., Черкашин В.И. Отображение межрегиональных и биосферных событий мезозоя и кайнозоя в осадочных комплексах Северо-Восточного Кавказа (Дагестан) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Южного Федерального Округа. Сборник научных трудов. №50. Махачкала, 2005. С.15-24.
2. Исаева Н.А. Развитие сеноман-туронской биоты фораминифер Северо-Восточного Кавказа в связи с абиотическими факторами // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Материалы Пятого Всероссийского совещания 23-28 августа 2010г. Ульяновск. 2010. С.174-178.
3. Копаевич Л.Ф. Обстановки дефицита кислорода и их влияние на морфологию раковин меловых планктонных фораминифер // Систематика организмов. Ее значение для биостратиграфии и палеогеографии. Материалы всероссийского совещания 4-8 апреля 2013г. Санкт-Петербург, СВЕГЕИ 2013.
4. Самышкина К.Г. Новые данные стратиграфического расчленения альбских и сеноманских отложений Восточного Кавказа на основании фораминифер // Биостратиграфия и микроорганизмы фанерозоя Евразии. Труды XII Всероссийского микропалеонтологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Д.М.Раузер-Черноусовой. ГЕОС.1997. С.180.
5. Щербинина Е.А., Александрова Г.Н. Переходный апт-альбский интервал Восточного Кавказа по данным изучения наннопланктона и диноцист // Микропалеонтология в России на рубеже веков. Материалы XIII Всероссийского Микропалеонтологического Совещания. Москва. 2005. С.154-155.

УДК 540.4

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-34-44

ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ДЕЙБУК-ХАРБУКСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕЙ ЮРЫ
В РАЗРЕЗЕ ОДНОИМЕННОЙ АНТИКЛИНАЛИ

Магомедов Р.А.

Институт геологии ДФИЦ РАН

По результатам проведенных полевых маршрутных исследований с отбором образцов горных пород, редкой фауны и флоры в районе антиклинали, дана общая литолого-стратиграфическая характеристика разреза с выделением трех подсвит дейбук-харбукской свиты средней юры. На геологической карте, в пределах структуры антиклинали, выполнена корректировка границы разновозрастных пород. Выделена зона проявления минерала «харбукит». Обозначена зона выклинивания верхнеюрских отложений под нижнемеловым хребтом Лес.

Ключевые слова: литология, стратиграфия, геологическая структура, фауна, флора, подводно-оползневые явления, деформации, минерал, геологическое время.

LITHUANIAN-STRATIGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE DEYBUK-KHARBUK SULT
OF THE MIDDLE JURAS WITH A SECTION OF AN UNIQUE ANTICLINAL

Magomedov R.A.

Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences

Based on the results of field routing studies with sampling of rocks, rare fauna and flora in the anticline area, a general lithological-stratigraphic characteristic of the section is given with the identification of three sub-tributaries of the Deybuk-Kharbuk Formation of the Middle Jurassic. On the geological map, within the structure of the anticline, the boundary of rocks of different ages has been adjusted. The zone of manifestation of the mineral "harbukit" is highlighted. The pinch out zone of the Upper Jurassic deposits under the Lower Cretaceous ridge "Les" is designated.

Keywords: lithology, stratigraphy, geological structure, fauna, flora, underwater landslide phenomena, deformations, mineral, geological time.

Введение

В основу составленной литолого-стратиграфической характеристики легли результаты анализа фондового геологического материала и материалов наших полевых наблюдений в маршрутах по территории МО сс. Харбук и Дейбук в Сланцевом Дагестане Восточного Кавказа.

Центральная и Высокогорная области Сланцевого Дагестана относятся к наименее доступной и наиболее сложной в геологическом отношении части республики. Картирование этой территории осложняется высокой пересеченностью местности и рядом геологических особенностей, главными из которых являются бедность окаменелостями многокилометровой толщи нижне- и среднеюрских отложений, сильная фациальная изменчивость пород, резкий метаморфизм в зонах тектонических нарушений, весьма сложная складчатая структура, обилие тектонических контактов. Несмотря на хорошую изученность территории региона в прошлом столетии, все еще слабо освещена стратиграфия многокилометровой толщи отложений нижне- и среднеюрского отдела, существенные пробелы имеются в изучении региональной тектоники.

Краткая история геологического развития. Как известно, в нижнеюрский период на всем протяжении Восточного Кавказа началась трансгрессия, которая продолжалась почти до конца среднеюрского времени (в течение 50-55 млн. лет). Длительный режим трансгрессии способствовал накоплению мощной толщи осадков, представленных, глинистыми сланцами и песчаниками [6, 8, 13-17, 20, 22-24]. Отложения нижнего и среднего отделов юры имеют характерный чёрный цвет, обусловленный значительными скоплениями в них мельчайших частиц углистого вещества. Особенностью их является также почти полное отсутствие карбонатности пород.

Дейбукский антиклинорий, впоследствии названный дейбук-харбукской брахиантиклиналью, впервые был выделен при геологической съемке в масштабе 1:200 000 [9, 10]. Структура имеет протяженность с СЗ на ЮВ ~ 15-18 км с поперечным сечением 4-6 км. Мощность среднеюрских отложений (по GPS-навигатору) на протяжении от нижней, обнаженной эрозионным врезом, точки (местечко «Шилкья къатти») до основания хр. Лес составляет ~ 1100 м. Ближе к СЗ части периклинали мощность отложений, видимо, увеличивается.

Формирование антиклинали началось на границе средней и верхней юры в результате тектонических процессов, имевших место в предкелловейскую фазу складчатости [17, 20, 22, 24 и др.]. Сформировавшаяся уже в поздней юре-начале мела (конец берриасского века) структура антиклинали выступает в качестве одного из участков внутреннего размыва в Сланцевом Дагестане. Сильные восходящие движения, вызванные предкелловейской орогенической фазой, привели к почти полному отсутствию отложений келловейского яруса и оксфорд-киммеридж-титонских отложений верхней юры в пределах ядра антиклинали. В пределах западного крыла антиклинали (хр. Лес) они несогласно залегают на байос-батских отложениях средней юры а, келловейские отложения - не выходя на поверхность. Интервал перерыва в осадконакоплении соответствует времени проявления поднятия. Согласно данным Международного союза геологических наук (IUGS) по состоянию на декабрь 2016 г. продолжительность времени от келловейского до конца берриасского веков составляет примерно 26 млн. лет, что соответствует времени проявления поднятия антиклинали. Выявленный интервал перерыва (стратиграфический перерыв) – гиатус в развитии антиклинали образовался в результате водной эрозии уже сформировавшихся толщ горных пород в процессе поднятия территории и горообразовательных движений а, также, при трансгрессиях и регрессиях. В последующие эпохи в области ядра антиклинали осадконакопление прекратилось и произошло дальнейшее преобразование горных пород в постдиагенетических процессах в прибрежно-морских и континентальных условиях.

Суммарный интервал перерыва в отложениях верхнеааленско-байосско-батского века складывается из периодов межслоевых размывов в подводных условиях, на которые, как известно, также требуется время, в том числе периодов размыва в результате действия морских турбидитных (мутевых) потоков при угле от 1-3 градусов и может составить около 4 млн. лет. Интервал перерыва в осадконакоплении между средней и верхней юрой (региональный перерыв) соответствует примерно келловейскому веку продолжительностью 2.6 млн. лет, а интервал перерыва между верхнеюрским и нижнемеловым периодом (региональный перерыв) – берриасскому, продолжительностью 5.2 млн. лет.

Характеристика толщ. Верхний подъярус ааленского яруса, частично обнаженный эрозионными врезами в пределах ЮВ части периклинали, представлен ритмично чередующимися глинистыми осадками (флишем) с конгломератовыми прослойками и глинисто-сидеритовыми конкрециями. Позднеааленский возраст свиты подтверждается единичными находками аммонитов (для байосских и батских отложений Северного Кавказа наиболее изученной и наиболее быстро эволюционирующей группой являются аммониты), предположительно, семейства *Graphoceras concavum* Sow. Ими охарактеризованы схожие другие участки региона [1, 2]. Для окончательного подтверждения возраста необходимо проведение дополнительных палеонтологических исследований узких специалистов. С конгломератовыми прослойками обнаружены фрагменты скелета рептилии (ящеротазовый динозавр?) юрского периода (рис. 1).

В осадочных слоях, на стадии седиментации, биоценозы не могут долго храниться в полном составе из-за их быстрого разложения. Некоторые организмы не успевают превратиться в окаменелости, другие после смерти выносятся течениями с места первоначального обитания. Поэтому в слое осадочной горной породы сохраняется только часть первоначального биоценоза в виде окаменелостей. Как известно, отдельные кости, встречаются гораздо чаще, чем полные. Значит ли это, что от момента гибели животных и до погребения их остатков прошло очень много времени? Нет, конечно, речь может идти, максимум, о месяцах и не более. Хорошую сохранность биоценоза в слое горной породе, прошедшей стадию диагенеза, можно объ-

яснить быстрой седиментацией, связанной с диастрофическими процессами и дальнейшими преобразованиями горной породы на стадиях диагенеза, катагенеза и т.д. в спокойных геотектонических условиях. Отсутствие окаменелости свидетельствует об осадконакоплении в спокойных геотектонических условиях, когда вымершие организмы быстро разлагаются, не успевают превратиться в окаменелости и, фрагментами выносятся течениями или другими геологическими процессами с места первоначального их обитания.

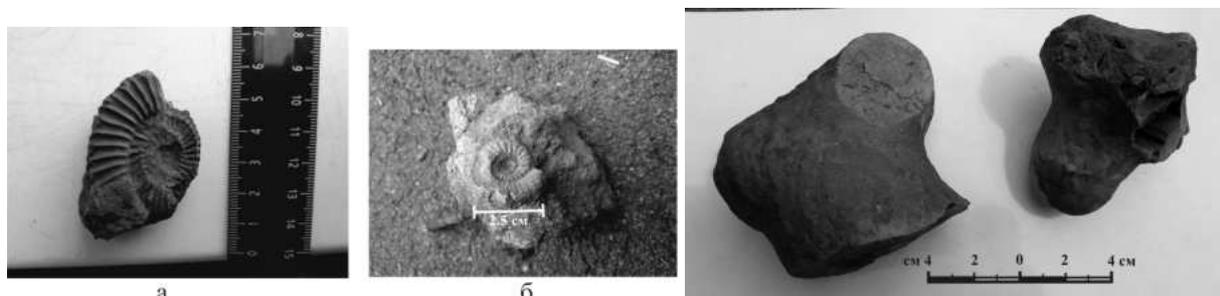


Рис. 1. Единичные находки аммонитов (а, б) *Graphoceras concavum* Sow? и фрагменты скелета рептилии? аален-байосского времени (находки автора).

Таким образом, наличие слоя с окаменелостями (хорошей сохранностью биоценоза) свидетельствуют о весьма незначительном промежутке времени, потребовавшемся на его формирование.

Мощная толща среднеюрских отложений антиклинали с единичными находками фауны свидетельствует, в общем, о спокойном характере осадконакопления с эпизодическими всплесками подводно-оползневых явлений. Если и есть фауна в отложениях антиклинали, их следует искать именно в слоях подводно-оползневых явлений.

Байосский и батский ярусы и верхний подъярус ааленского яруса обнаженные в ядре антиклинали (рис. 2) рассматриваются нами как один комплекс терригенных отложений (аргиллиты, алевролиты, песчаники и их чередование) – дейбук-харбукская свита средней юры (J_2 d-h), трансгрессивно перекрытый различными горизонтами верхней юры.



Условные обозначения

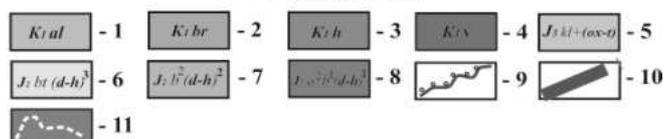


Рис. 2. Геологическая карта района дейбук-харбукской антиклинали по [19] с дополнениями и уточнениями автора.

Нижний мел: 1 - альбский ярус, 2 - барремский ярус, 3 - готеривский ярус, 4 - валанжинский ярус.

Верхняя юра: 5 - келловей - оксфорд-киммеридж-титонские ярусы,

Средняя юра (дейбук-харбуцкая свита): 6 - *верхняя* подсвита (соответствует батскому ярусу),

7 - *средняя* (соответствует верхнему байосу), 8 - *нижняя* (соответствует нижнему байосу и верхнему аалену),

9 - граница размыва (перерыв в осадконакоплении) в средне- и верхнеюрских отложениях.

10 - фрагмент продолжения предполагаемого глубинного Гамри-Озеньского разлома,

11 - старая геологическая граница.

Текстурные и структурные особенности пород свиты свидетельствуют об их глубоководном происхождении, а части пород – о дальнейших преобразованиях в постдиагенетических процессах в морских, прибрежно-морских и континентальных условиях поздних эпох. Литолого-фациальные особенности отложений дейбук-харбуцкой свиты соответствуют терригенной («аспидной») формации, которая образовалась при определенных сочетаниях тектонических и фациально-палеогеографических факторов, обладает специфическими особенностями строения и вещественного состава и относится к гумидному типу литогенеза. Гумидный тип литогенеза был преобладающим в начале альпийского цикла тектогенеза [17].

Ярусы, обнаженные в ядре антиклинали, залегают согласно и представлены чередованием пакетов переслаивающихся аргиллитов и алевролитов с горизонтами песчаников (рис. 3).



Рис. 3. Переслаивающиеся аргиллиты и алевролиты с горизонтами песчаников.

Весьма характерны следы подводно-оползневых явлений с конгломератовыми прослойками связанные с сейсмическими событиями юрского периода и с отступающим верхнеюрским морем, встречаются глинисто-сидеритовые конкреции (рис. 4), слои и прослойки ожелезненных глинистых сланцев и сейсмотектонические деформации поздних эпох (рис. 5).

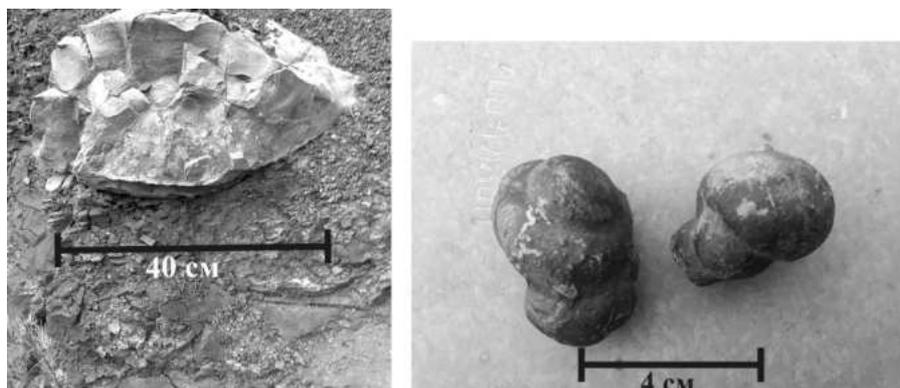


Рис. 4. Глинисто-сидеритовые конкреции в дейбук-харбуцкой свите средней юры.

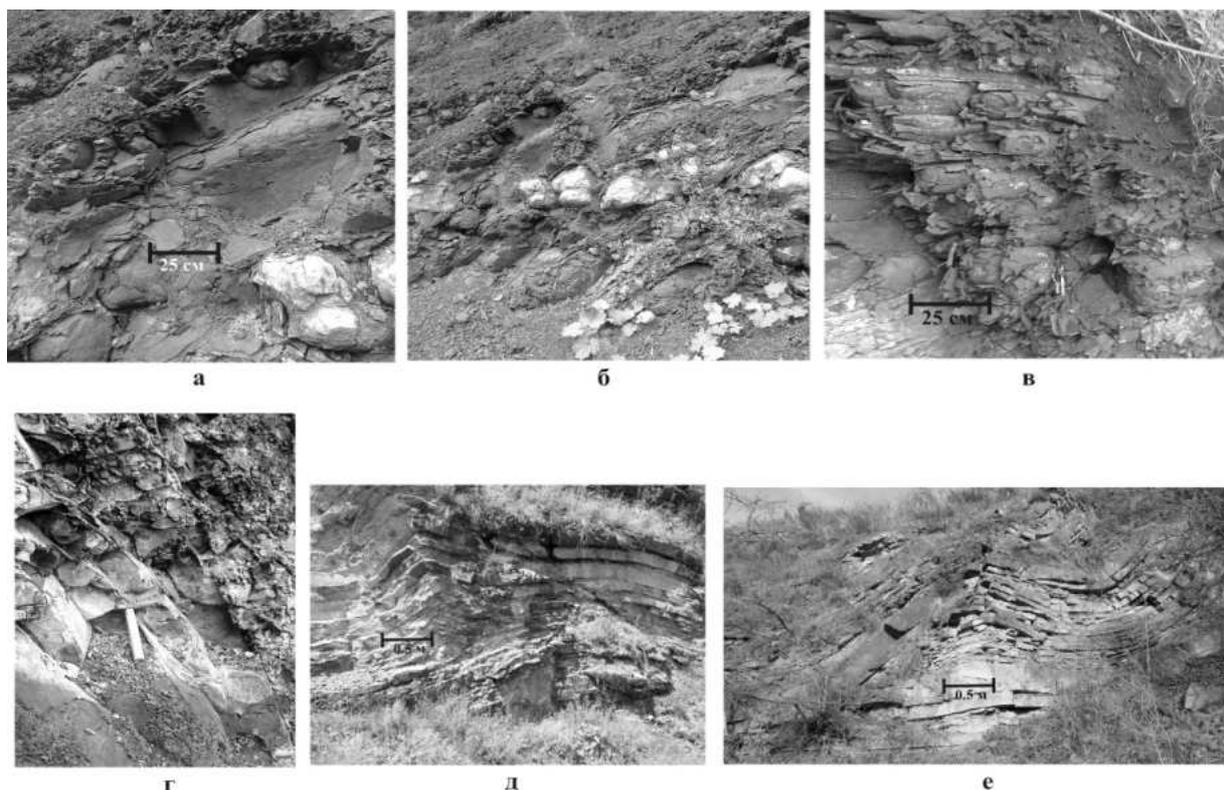


Рис. 5. Следы подводно-оползневых явлений (а,б,в,г) и сейсмоструктурные деформации поздних эпох (д,е - деформации в пределах нас. пункта Харбук).

Дейбук-харбукская свита (фаунистически не охарактеризована - бедна фауной. Проведенные микропалеонтологические исследования образцов свиты узкими специалистами Института геологии У.Т.Темирбековой и Л.С.Баркуевой также не дали положительных результатов) условно подразделяется нами на 3 подсвиты (рис. 6). Ее выделение основывается на литолого-стратиграфических признаках и положении в геологическом разрезе.

Верхняя, глинистая часть разреза у основания хр. Лес представлена тонкослоистыми алевролитами темно-серого цвета с прослоями обогащенных окислами и гидроокислами железа глин буро-желтого цвета и редким пиритом (рис. 7). В нижней части подсвиты развиты толщи аргиллитов, алевролитов и песчаников - так называемая пачка «перерыва», отделяющая верхнюю подсвиту от средней. Мощность отложений подсвиты – в пределах 300-350 м.

Средняя подсвита представлена чередованием пачек аргиллитов, алевролитов и толсто-плитчатых песчаников. В основании подсвиты – следы подводно-оползневых явлений с прослоями глинисто-сидеритовых конкреций и грубообломочных пород, мощность которых местами достигает до 1.5 м. Максимальные размеры валунов в слоях подводно-оползневых явлений, в отдельных случаях, достигают 40 x 30 x 20 см. Мощности прослоев со следами подводно-оползневых явлений – в пределах от 0.5 до 5 и более метров. Над прослоями - пачки слабо-цементированных светло-серых, с коричневым оттенком, песчаников, мощностями до 4 метров. Встречаются слои и прослойки ожелезненных глинистых сланцев (рис. 8).

Их образование, вероятно, связано с тектоническим давлением, направленным под углом к плоскости напластования, в результате которого создаются косые расколы (кливаж, сланцеватость) и, соответственно, отдельности. Подземные воды и растворы, распространяясь под углом и неравномерно, в зависимости от структуры, текстуры и пористости породы, создают причудливую ложную слоистость, а по трещинам выпадают чаще всего гидроокислы железа.

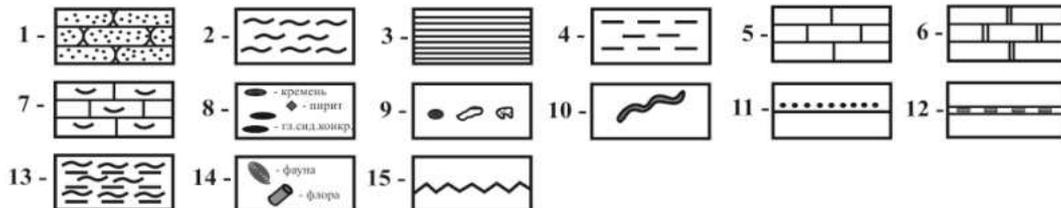
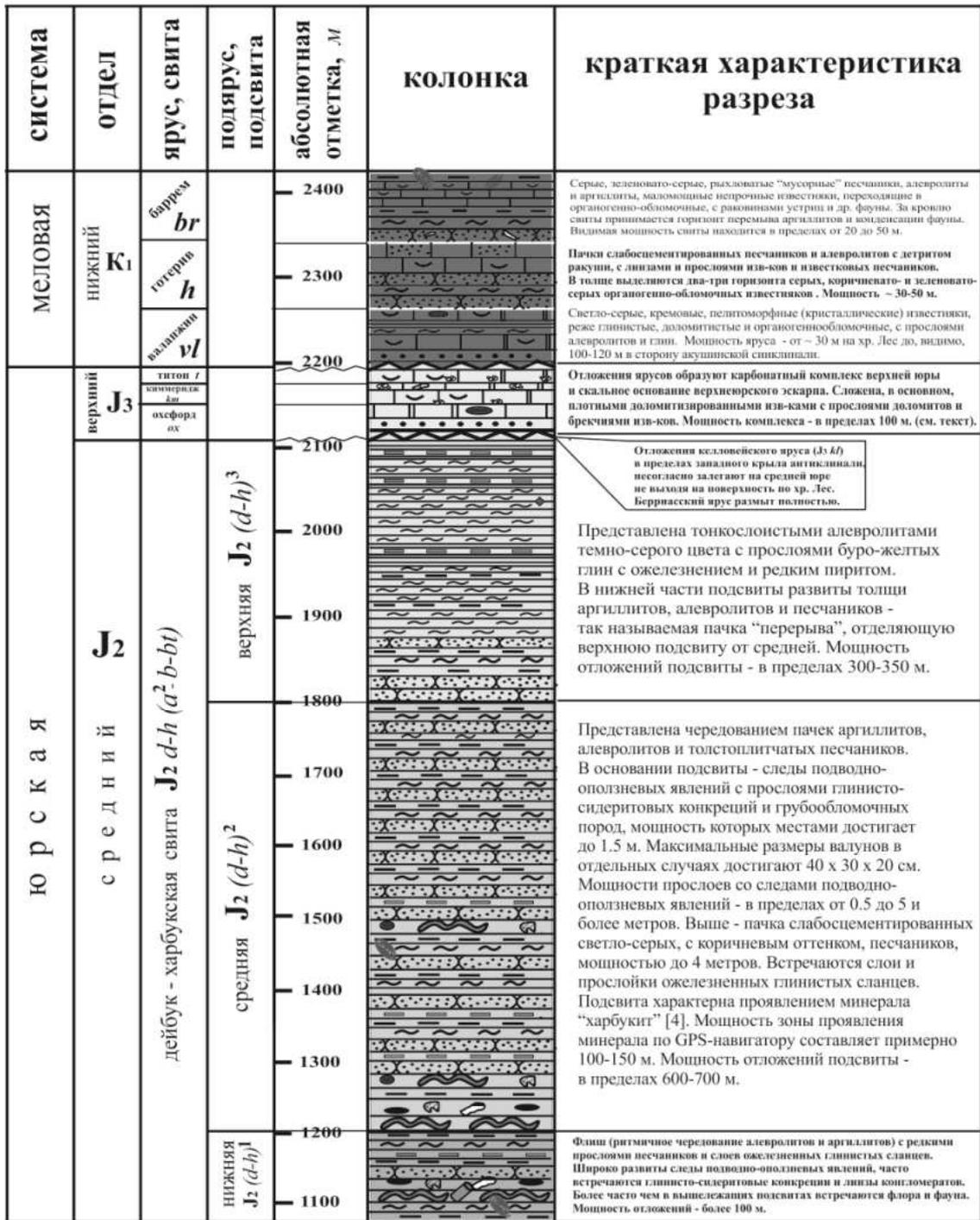


Рис. 6. Литолого-стратиграфическая колонка дейбук-харбуцкой антиклинали.

- 1 - песчаник, 2 - алевролит, 3 - глины, 4 - аргиллит, 5 - известняк, 6 - доломит, 7 - органогенно-обломочные известняки, 8 - глинисто-сидеритовые конкреции, кремни, пирит, 9 - конгломераты, прослой грубо-обломочных пород, 10 - следы подводно-оползневых явлений, 11 - перерыв в осадконакоплении, 12 - слои и прослойки ожелезненных глинистых сланцев, 13 - флиш (ритмичное чередование алевролитов и аргиллитов), 14 - фауна и флора, 15 - угловое несогласие

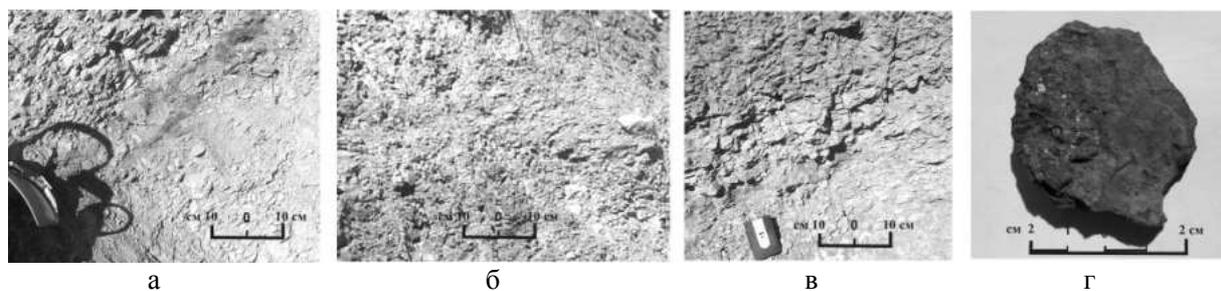


Рис. 7. Прослои обогащенных окислами и гидроокислами железа глин буро-желтого цвета (а,б,в) с редким пиритом (г).

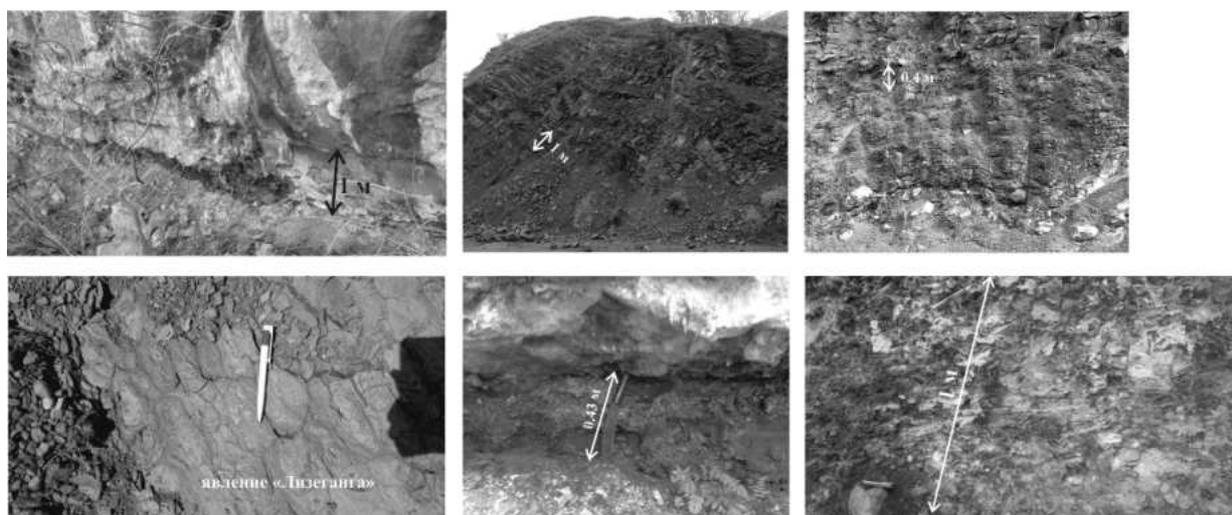


Рис. 8. Слои и прослойки ожезненных глинистых сланцев

Повторяющиеся выпадения вещества по трещинам, в результате которого порода распадается на вложенные друг в друга "железные черепки", получила название "явления Лизеганга" (рис. 8). Мощность отложений подсвиты – в пределах 600-700 м.

Подсвита характерна проявлением минерала «харбукит» [19]. Мощность зоны проявления минерала по GPS-навигатору составляет примерно 100-150 м (рис. 9).



Рис. 9. Зона проявления минерала «харбукит» (выделена цветом).

Нижняя подсвита представлена флишем с редкими прослоями песчаников и слоями железистых глинистых сланцев. Широко развиты следы подводно-оползневых явлений, часто встречаются глинисто-сидеритовые конкреции и линзы конгломератов. Редко, но встречаются флора и фауна (рис. 10, 1). Мощность отложений – более 100 м. Из-за сильной пересеченной местности и плохой видимости для GPS-навигатора при определении мощностей могут быть погрешности.

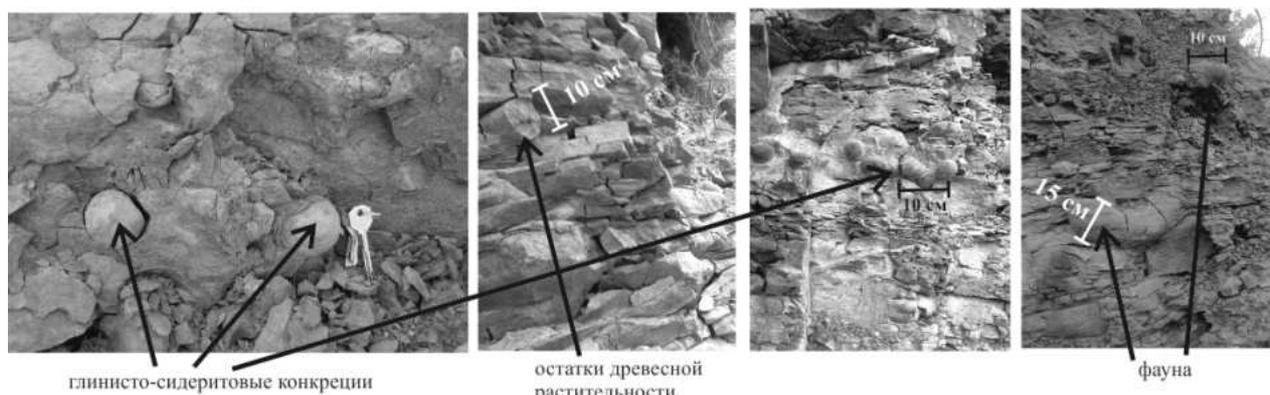


Рис. 10. Флора и фауна нижней подсвиты дейбук-харбукской свиты.

Отложения дейбук-харбукской свиты в пределах западного крыла антиклинали перекрыты трансгрессивно залегающими верхнеюрскими (оксфорд-киммеридж-титонскими) (рис. 11).

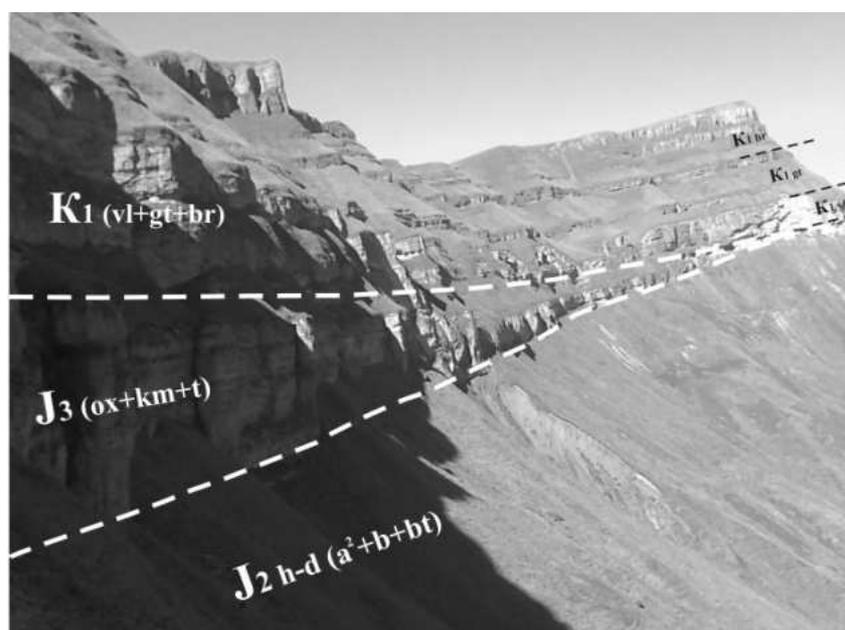


Рис. 11. Выклинивание верхнеюрских отложений под нижнемеловым хребтом Лес.

Верхний отдел (J_3 cl+ox+km+t), представленный в пределах западного крыла антиклинали, подразделяется на два комплекса. Отложения келловейского яруса образуют нижний терригенно-доломитовый комплекс, представленный в основном, алевролитами с прослоями песчанистых известняков, доломитов и гравелитов мощностью до 140 м по мере погружения крыла в сторону акушинской синклинали. Отложения оксфорд-киммеридж-титонского ярусов образуют карбонатный комплекс верхней юры и скальное основание верхнеюрского эскарпа. Сложена, в основном, плотными доломитизированными известняками с прослоями доломитов, ангидритов, часто загипсованным. Мощность комплекса в пределах 100 м.

Келловейский ярус трансгрессивно перекрывает отложения дейбук-харбукской свиты в пределах западного крыла антиклинали, не выходя на поверхность.

Оксфордская свита трансгрессивно перекрывает келловейскую свиту и представлена буроватыми, серыми доломитами и известняками, местами с жеодами и линзочками кремней. Без видимых несогласий оксфордская свита перекрывается киммериджской. Оксфордская свита плохо охарактеризована фаунистически и выделение ее основывается на том, что известняково-доломитовая толща трансгрессивно и со следами перерыва ложится на слои келловея.

Киммериджская свита изменчивая по составу и мощности, представлена в основании водорослевыми, органогенно-обломочными известняками и брекчиями доломитов, а выше - ангидритами с известняками и доломитами. В ядре антиклинали они отсутствуют, и разрез представлен брекчиями обрушения и оползания известняков. Скопления брекчий образуют мощные линзы, быстро выклинивающиеся по простиранию. Отложения свиты распространены на западном крыле антиклинали, согласно перекрывают оксфордскую свиту и сложены карбонатно-сульфатными осадками, образующими полузадернованные «полки» в обрывах эскарпа. Суммарная видимая мощность составляет первые десятки метров.

Титонская свита залегает с разрывом на киммериджской и представлена доломитами и их брекчиями, в верхней части - алевролитами. В основании титонского яруса залегают известняковые брекчии. Отложения свиты распространены на западном крыле антиклинали. В районе дороги Харбук-Бутри (хр. Лес) титонский ярус, представленный переслаивающимися пелитоморфными, доломитизированными и органогенно-обломочными светло-серыми известняками с мергелевидными пелитоморфными доломитами, с угловым несогласием залегает на дейбук-харбукской свите, представленной тонкослоистыми алевролитами темно-серого цвета. Его мощность составляет примерно первые десятки метров и, вероятно, возрастает в южном направлении вдоль хребта и в сторону акушинской синклинали.

Свиты бедны органическими остатками, их возраст определяется по положению в геологическом разрезе. Суммарная мощность свит верхнего отдела юры колеблется от примерно 250 м на юго-западе до 0 м на северо-востоке антиклинали.

Нижний мел ($K_1 vl-br$), представленный в пределах крыльев антиклинали, подразделяется на два комплекса.

Отложения валанжинского, готеривского и нижней части барремского ярусов образуют карбонатно-терригенный комплекс нижнего мела мощностью ~ 100 м. Представлен он преимущественно известняками с тонкими прослоями мергелей, песчаников и алевролитов.

Отложения верхней части барремского яруса совместно с аптским и альбским ярусами, распространенными на западном крыле (в сторону акушинской синклинали) образуют терригенный комплекс нижнего мела. Представлен он чередованием алевролитоглинистых и песчано-алевролитовых пород. Мощность комплекса в пределах акушинской синклинали – 240-250 м.

Валанжинский ярус ($K_1 vl$) с размытами (в районе хр. Лес берриасский ярус размыт полностью) перекрывает титон ($J_3 t$) и представлен горизонтом светло-серых, кремневых пелитоморфных (кристаллических) известняков, реже глинистых, доломитистых и органогенно-обломочных (псевдооолитовых) известняков с прослоями алевролитов и глин. Горизонт фациально выдержан на большой территории, его мощность колеблется от ~ 30 м на хр. Лес до, видимо, 100-120 м на западе (в сторону с. Бутри Акушинского района). Отложения бедны органическими остатками.

Готеривский ярус согласно перекрывает валанжинский. Ярус слагают пачки слабощементированных песчаников и алевролитов с детритом ракуши, зеленовато-серых, грязновато-зеленоватых, с линзами и прослоями известняков и известковых песчаников. В толще выделяются два-три горизонта органогенно-обломочных известняков серых, коричневатых и зеленовато-серых. Наиболее мощный из них (30-50 м) залегает в кровле и хорошо выдержан на западном крыле антиклинали.

Барремский ярус обнажается на крыльях антиклинали, его осадки с небольшим размывом перекрывают готеривские известняки. Ярус слагают серые, зеленовато-серые, рыхловатые «мусорные» песчаники, алевролиты и аргиллиты, мало мощные непрочные известняки, переходящие в ракушечники с раковинами устриц и другой фауны. За кровлю свиты принимается горизонт перебива аргиллитов и конденсации фауны. Видимая мощность свиты находится в пределах от 20 до 50 м. Однообразный литологический состав и выдержанность по мощности нижнебарремских известняков свидетельствуют о сравнительно спокойном и мелководном характере осадконакопления.

Карбонатно-сульфатная формация верхней юры и нижнего мела, в разрезе антиклинали, свидетельствует об аридизации климата (аридном типе литогенеза) вызванная, очевидно, тектоническими движениями андийской (адыгейской-предкелловейской и новокиммерийской) фазы тектогенеза, в условиях которого накапливались седиментационные и седиментационно-диагенетические известняки, доломиты, ангидриты, являющиеся осадками неглубоких морских и лагунно-заливных фаций.

Таким образом, проведенные исследования, в том числе полевые маршрутные, с отбором образцов горных пород, редкой фауны и флоры в районе дейбук-харбукской антиклинали, позволили:

- дать общую литолого-стратиграфическую характеристику разреза антиклинали с выделением трех подсвит дейбук-харбукской свиты средней юры. Построить литолого-стратиграфическую колонку антиклинали;
- выявить интервал перерыва (стратиграфический перерыв) – гиатус в развитии антиклинали, который составляет примерно 26 млн. лет, что соответствует времени проявления поднятия антиклинали;
- выполнить корректировку границы разновозрастных пород на геологической карте района в пределах структуры антиклинали;
- выделить зону проявления минерала «харбукит»;
- обозначить в разрезе зону выклинивания верхнеюрских отложений под нижнемеловым хребтом Лес.

Литература

1. Антонова З.А. К вопросу о развитии юрской фауны фораминифер на Северном Кавказе (бассейн р. Малая Лаба) //Тр. Краснодар. фил. Всесоюз. нефтегаз. НИИ.1962. вып.10.- С. 149-158.
2. Антонова З.А. Фораминиферы ниже-среднеюрских отложений северного склона Западного Кавказа и некоторые вопросы палеобиогеографии //В кн. Образ жизни и закономерности расселения современной и ископаемой микрофауны. М.; Наука,1975.- С. 214-218.
3. Бровков Г.Н., Москаленко Т.А. О первой находке конгломератов с галькой доюрских изверженных и метаморфических пород в байосе юго-восточного Дагестана //Академия наук СССР. Дагестанский филиал. Труды института геологии. Том II. Вып. 4 (24). 1980. - С. 165-168.
4. Вассоевич Н.Б., Коротков С.Т. К познанию явлений крупных подводных оползней в олигоценую эпоху на Северном Кавказе //Труды НГРИ. Сер. А. Вып. 52. М., Л.: ОНТИ НКТП, 1935, 46 с.
5. Гаврилов Ю.О. Отражение сейсмических палеособытий в мезозойско-кайнозойских терригенных толщах Северного Кавказа //Литология и полезные ископаемые. 2017, № I. С. 3-24.
6. Геологическая изученность СССР. Дагестанская АССР. Том 13. Период 1971-75 гг. вып. 1. Министерство геологии СССР. Северокавказское производственное геологическое объединение «Севокавгеология», ДГРЭ. Москва. Недра, 1989 г.
7. Геологическая карта Кавказа. Масштаб 1:500 000 /ред. Д.В. Наливкин. Министерство геологии СССР. ВСЕГЕИ. Москва, 1976 г.
8. Геология и нефтегазоносность Восточного Предкавказья. Труды КЮГЭ /Брод И.О. Вып. 1. 1958. ГНТИ нефтяной и горно-топливной литературы. Ленинград 1958. 622 с.
9. Голубятников В.Д. Геологическая карта горной части Дагестанской АССР. Министерство геологии и охраны недр СССР. ВСЕГЕИ. 1956 г.

10. Голубятников В.Д. Геологическая карта Дагестанской АССР. Министерство геологии СССР. ВСЕГЕИ и Дагестанское геологическое отделение. 1948 г.
11. Дробышев Д.В. Хребет Лес в даргинском округе Дагестана. Тр. ГГРУ ВСНХ СССР. Вып. 86. Геол. из-во ГГРУ. Москва-Ленинград, 1931. 44 с.
12. Живаго Н.В. К вопросу о строении среднеюрских отложений Дагестана. Тр. ВНИГНИ, 1958, вып. 12, с. 192-212.
13. 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. Махачкала, 2010.- С. 66-80.
14. Магомедов Р.А. Геолого-тектонические условия, геодинамическая позиция и современная сейсмичность Восточного Кавказа // Геология и ресурсы Кавказа. Труды ИГ ДНЦ РАН. Выпуск № 2(69). 2017. С. 13-32.
15. Магомедов Р.А. Геотектонический аспект рудогенеза в осадочной толще Восточного Кавказа // Геология и ресурсы Кавказа. Труды ИГ ДНЦ РАН. Выпуск № 5(72). 2018].
16. Магомедов Р.А. Дизъюнктивная тектоника и современная сейсмичность территории Восточного Кавказа // Отечественная геология, № 3.- 2014.- С. 69-77.
17. Магомедов Р.А. Область Дагестанского клина в альпийском цикле развития Восточного Кавказа // Труды 4 международной школы-семинара молодых ученых. Владикавказ, 2011. 24-26 окт. 2011 г. С. 179-194.
18. Магомедов Р.А. Следы палеосейсмических событий в разрезах осадочного чехла Восточного Кавказа // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Седьмое Всероссийское совещание. 18-22 сентября 2017 г., Москва. Научные материалы /В.А. Захаров, М.А. Рогов, Е.В. Щепетова (ред.). Москва: ГИН РАН, 2017. С. 119-122.
19. Магомедов Р.А., Абдуллаев М.Ш. Первые результаты литолого-геохимических опробований юрских отложений Дейбук-Харбукской антиклинали // Геология и ресурсы Кавказа. Труды ИГ ДНЦ РАН. Выпуск № 2(73). 2018. С. 4-12.
20. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. “Недра”. М., 1968. 484 с.
21. Милановский Е.Е., Короновский Н.В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. М.: Недра, 1973. 279 с.
22. Милановский Е.Е., Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа. М., Изд-во МГУ, 1963. 240 с.
23. Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г. Геология месторождений нефти и газа в Дагестане. Даг. филиал АН СССР. Институт геологии. Махачкала: Даг. кН. Изд-во, 1986. 312 с.
24. Никитин М.Ю. Неотектоника Восточного Кавказа. - БМОИП, отд. геол., 1987, т. 62, вып. 3.-С. 21-36.
25. Темирбекова У.Т., Баркуева Л.С. Микробиота среднеюрских бассейнов Дагестана // Геология и ресурсы Кавказа. Тр. ИГ ДНЦ РАН. № 1(68). 2017.- С. 25-28.

УДК 550.34

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-45-51

О ПЕРСПЕКТИВАХ ВНЕДРЕНИЯ В ДАГЕСТАНЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ

Таймазов^{1,2} Д.Г.

¹Единая геофизическая служба РАН, ²Институт геологии ДФИЦ РАН

Обсуждается возможность организации в Дагестане площадных наблюдений высокочастотных сейсмических шумов и использования их для среднесрочного прогнозирования сильных землетрясений.

Ключевые слова: деформационное поле, высокочастотные сейсмические шумы, резонансные приемники, землетрясения, алгоритм прогнозирования.

ON THE PROSPECTS OF THE IMPLEMENTATION IN DAGESTAN OF NEW TECHNOLOGIES OF OBSERVATION AND TREATMENT OF HIGH-FREQUENCY SEISMIC NOISE

Taymazov D.G.

Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, Institute of Geology Dagestan Scientific Center Russian Academy of Sciences

Discusses the possibility of organizing areal observations of high-frequency seismic noise in Dagestan and using them for medium-term predicting of strong earthquakes.

Keywords: deformation field, high-frequency seismic noise, resonant receivers, earthquakes, predicting algorithm.

Введение

В работах [1,2] мы предложили алгоритм прогнозирования места, силы и времени землетрясения по результатам повторных геофизических наблюдений на сейсмоактивной территории. При этом координаты очага и магнитуду ожидаемого землетрясения предлагается определить с использованием теоретических закономерностей распределения геополей на дневной поверхности в рамках Консолидационной модели подготовки землетрясений И.П. Добровольского [3], а время землетрясения – с использованием также известной эмпирической зависимости времени подготовки землетрясения от его магнитуды [4].

Основными наблюдаемыми параметрами в этом алгоритме, как и в предложенных ранее [5-7], остаются компоненты деформационного поля или тесно связанные с ними другие геофизические параметры, например уровень микросейсмической эмиссии. Начатые нами в Институте геологии ДНЦ РАН исследования по площадным наблюдениям микросейсмической эмиссии на территории Дагестана [8, 18-20] в 2010 году были свернуты ввиду практически полного отсутствия в те годы финансирования полевых работ. Кроме того, изготовленные для этих целей широкополосные цифровые сейсмоприемники на базе модернизированных датчиков СМ-3 оказались недостаточно чувствительными для надежной регистрации микросейсмической эмиссии. В связи с этим было признано целесообразным перейти на регистрацию высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ) резонансными приемниками, которые на 2-3 порядка чувствительнее широкополосных. К тому же уже давно установлено явление модуляции уровня ВСШ земными приливами [9-11] и показана возможность его использования для оценки напряженно-деформированного состояния среды.

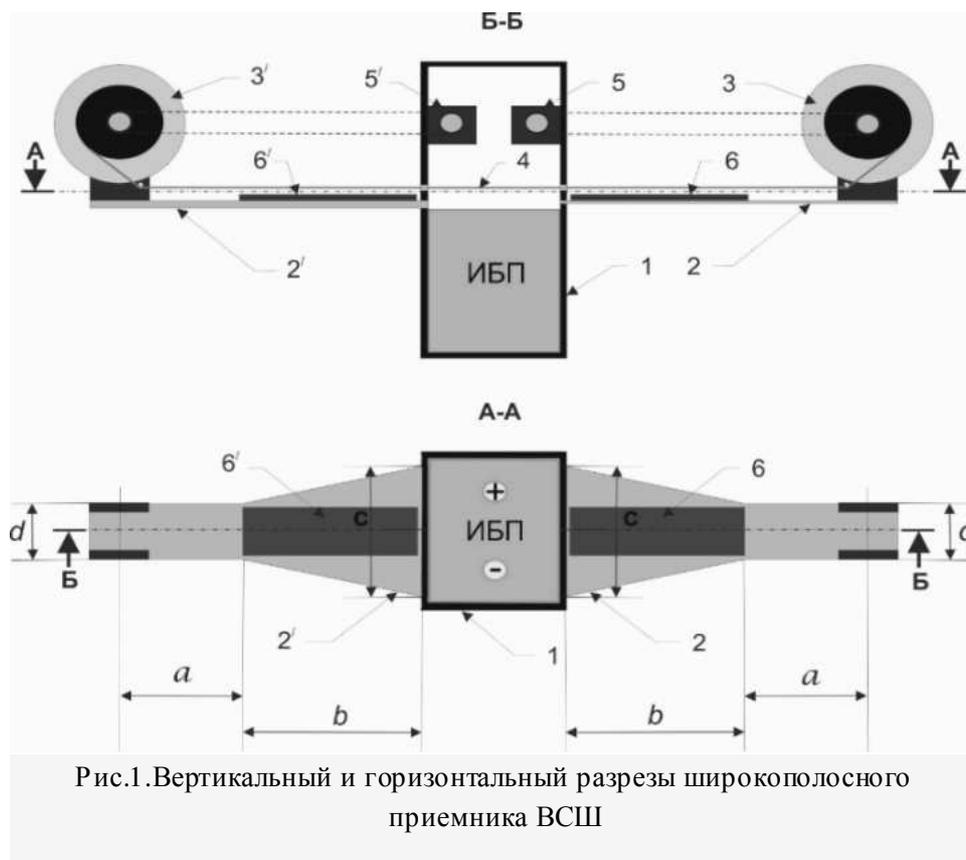
Известные приемники ВСШ, как правило, настроены на одну резонансную частоту и поэтому недостаточно информативны. К примеру, по данным наблюдений на одном датчике нельзя определить спектральную плотность мощности ВСШ, временные изменения которой позволили бы количественно проследить эволюцию напряженно-деформированного состояния среды.

В настоящей работе обсуждается возможность использования разработанного нами широкополосного приемника ВСШ [12,13] для площадных наблюдений в зоне сейсмического за-

тишь в Центральном Дагестане и косвенной оценки по ним динамики накопления и сброса напряжений в земной коре региона. Результаты наблюдений предполагается обработать по предложенному алгоритму [1,2] для возможного прогноза ожидаемого в регионе сильного землетрясения.

Краткое описание приемника ВСШ

Широкополосный приемник ВСШ (рис.1.) содержит корпус 1 и установленные в нем две упругие пластины консольного типа 2 и 2' с биморфными преобразователями 6 и 6', на свободных концах которых укреплены инерционные массы 3 и 3' в виде двух катушек переменной массы из прочного легкого материала, например углепластика. На катушки намотана одна общая проволока 4 из тяжелого материала, например вольфрама, с возможностью ее перематывания между катушками.



В корпусе установлены также два реверсивных мотор-генератора 5 и 5', каждый из которых соединен гибким приводом соответственно с первым и вторым катушками. Они включены в общую электрическую цепь с возможностью согласованного попеременного переключения их из режима двигателя в режим генератора и обратно. При этом материал и геометрические размеры упругих пластин подобраны так, чтобы при перематывании проволоки между катушками их собственные частоты изменялись в смежных диапазонах частот. Это обеспечивает возможность сканирования широкой полосы частот.

Технические характеристики

При сканировании в диапазоне 5÷200 Гц (это наиболее информативный диапазон частот) вес проволоки должен составлять ~250 г, что для вольфрама соответствует объему в ~13 см³. Объем важен с точки зрения компактности прибора, поскольку для максимальной защиты от помех его целесообразно разместить в скважине. При этом собственные частоты консоль-резонаторов будут изменяться в пределах частично перекрывающихся поддиапазонов 5÷35 Гц

(рис.1, правый резонатор) и $30 \div 210$ Гц (левый резонатор). Для этого, при одинаковых других геометрических размерах упругих пластин, толщина левой консольной пластины должна быть примерно в 4 раза больше, чем правой, что вполне приемлемо. Высокая точность идентификации регистрируемых частот в широком диапазоне и линейная зависимость выходного сигнала от амплитуд гармоник в сочетании с компактностью биморфного преобразователя расширяет область применения приемника ВСШ. Он может быть использован как в сейсмологии для исследования закономерностей пространственно-временных изменений сверхслабого фонового сейсмического шума естественного и техногенного происхождения, так и для сейсмоакустического контроля инженерных сооружений, машин и механизмов. В нашем случае важнее всего возможность тонкой настройки резонатора на принимаемую частоту при сканировании, что позволяет определять спектральную плотность мощности ВСШ в широкой полосе частот. А этот параметр напрямую связан с механическими напряжениями в наблюдаемом объекте.

Описание алгоритма обработки площадных наблюдений

Сущность предложенного алгоритма [1,2] заключается в проведении площадных режимных наблюдений геофизических полей, в том числе ВСШ, на потенциально сейсмоактивной территории и определении параметров ожидаемого землетрясения с использованием известных теоретических и эмпирических соотношений между ними. Для этого выполняется следующая последовательность действий: 1) площадные режимные (повторные) геофизические наблюдения на исследуемой территории; 2) выделение в результатах наблюдений кольцевых структур (рис.2.) и определение по ним эпицентра и координат очага ожидаемого землетрясения; 3) определение из повторных площадных наблюдений, выполненных как минимум для двух эпох, разделенных временным интервалом в несколько лет, текущих радиусов зоны подготовки землетрясения; 4) определение для этих эпох текущих значений накопленной сейсмической энергии формирующегося очага по известным эмпирическим формулам; 5) вычисление по этим данным скорости накопления сейсмической энергии в очаге и, далее, магнитуды ожидаемого землетрясения; 6) определение по скорости накопления энергии и известным эмпирическим соотношениям времени, оставшегося до прогнозируемого землетрясения.

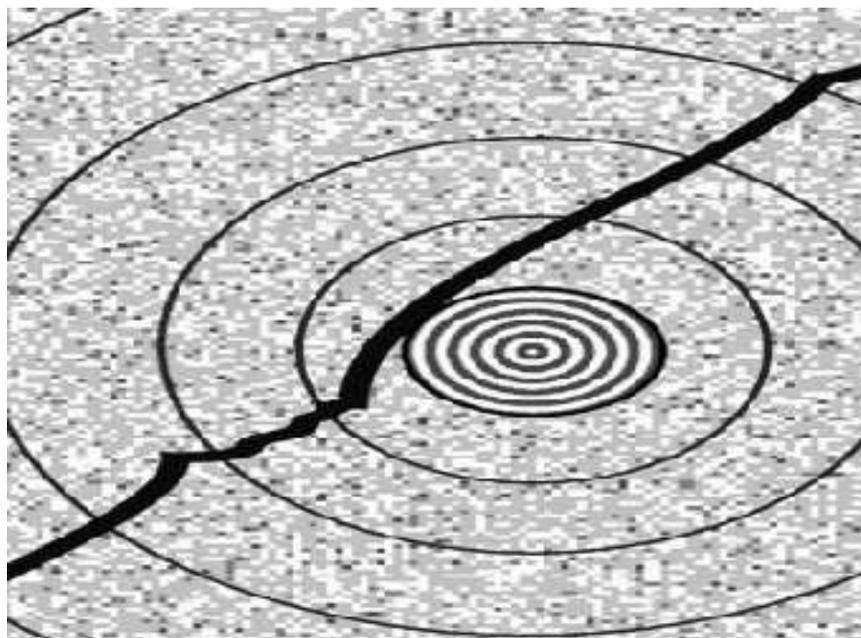


Рис.2. Предполагаемая картина изолиний ВСШ вокруг эпицентра ожидаемого землетрясения

Для реализации этого алгоритма разработана компьютерная программа OshagZeml.exe [14,15]. Алгоритм и программа базируются на Консолидационной модели подготовки землетрясений И.П. Добровольского [3], согласно которой амплитуды аномалий компонентов деформационного поля, следовательно и ВСШ, убывают с расстоянием от источника (потенциального очага) по закону обратных кубов. Согласно этой модели и известным наблюдательным фактам, на территории Дагестана наиболее вероятным местом накопления тектонических напряжений является область сейсмического затишья в Центральном Дагестане, ограниченная координатами $42^{\circ}.00-42^{\circ}.70$ с.ш. и $46^{\circ}.70-48^{\circ}.00$ в.д. После относительно высокой сейсмоактивности в 2000 г. (за вторую половину 2000 г. здесь произошло 4 землетрясения средней силы с магнитудами 3.1, 4.6, 4.6, 4.7, три из которых – в ее центральной области, вблизи населенных пунктов Мекеги и Муги) на этой площади не наблюдалось ощутимых землетрясений – (сейсмическая брешь второго рода с кольцевой сейсмичностью [16]). Более детальное рассмотрение показало следующее: 1) до активизации в 2000 г., в предыдущие 10 лет (с 1991 г.), здесь также имело место полное сейсмическое затишье; 2) по палеосейсмическим данным, в историческом прошлом, на этой территории произошло ряд значимых сейсмических событий [17-20]; 3) в течение 2002–2008 гг. наблюдалась тенденция к расширению зоны затишья, что также находится в согласии с Консолидационной моделью подготовки землетрясений [3]. Активизация в 2000 г. центральной области этой зоны может быть интерпретирована как завершающий этап консолидации. Карта плотности эпицентров за 2018 г. (рис. 3) показывает, что сейсмическое затишье в этой зоне, которое само по себе является предвестником землетрясения [16], продолжается.

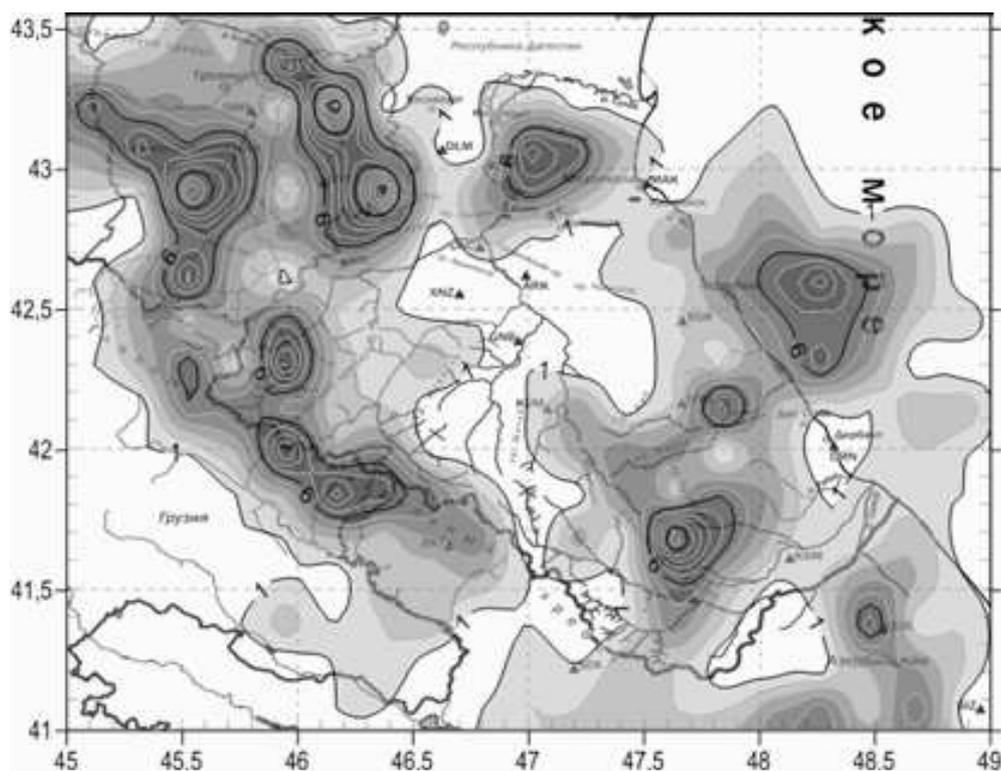


Рис.3. Карта плотности эпицентров землетрясений на территории Дагестана за 2018 г.

На этой площади создана наблюдательная сеть примерно из 40 пунктов, равномерно покрывающих зону сейсмического затишья (рис. 4.). Синими треугольниками обозначены пункты, в которых выполнена только рекогносцировка.

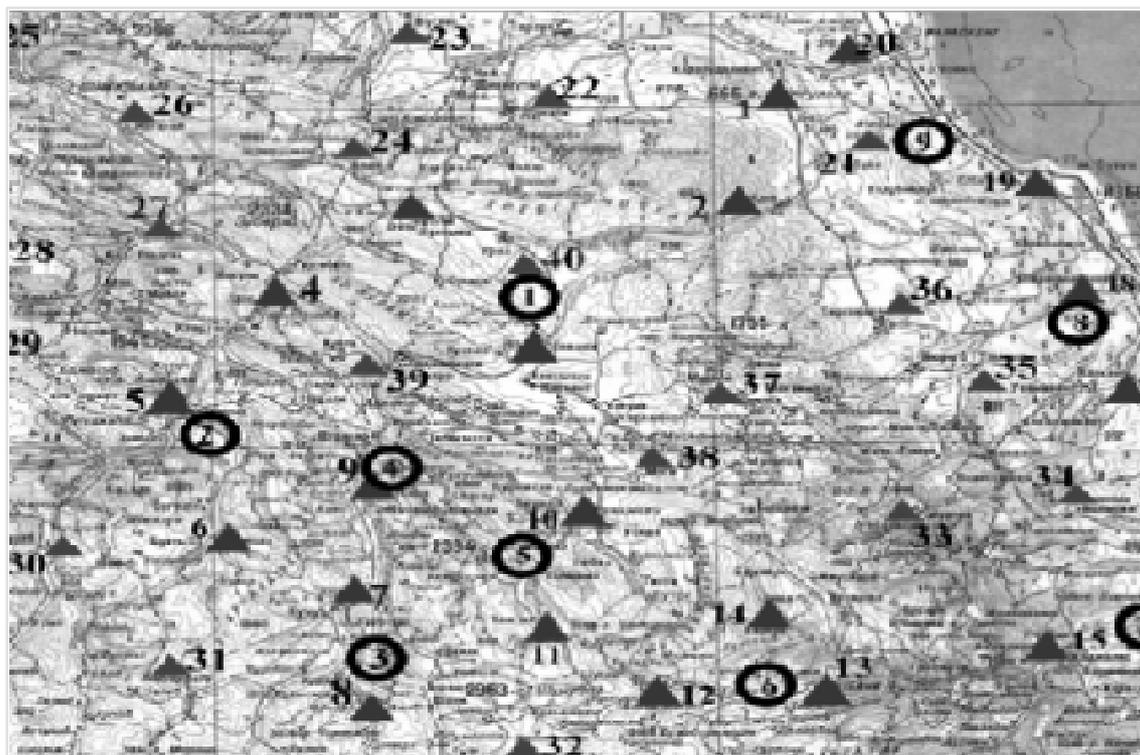


Рис.4. Карта предполагаемого размещения пунктов наблюдений ВСШ на территории Дагестана

В число измеряемых на пунктах полигона предположительно будут входить следующие параметры ВСШ.

1. Огибающие уровня ВСШ на фиксированных частотах.
2. Спектральная плотность мощности ВСШ для широкой полосы частот.
3. Относительные амплитуды отклика ВСШ на внешние периодически меняющиеся факторы, такие как термобарические и гравитационно-приливные.

Все вышеперечисленные параметры, как показано в [9-11], находятся в причинно-следственной связи с напряженно-деформированным состоянием земной коры. Для обработки по алгоритму [1,2], реализованному в компьютерной программе [14, 15], и возможного прогноза ожидаемого в Дагестане сильного землетрясения, они должны быть определены для двух и более эпох, разделенных временными интервалами в несколько лет [6,7].

Надежность оценки по предлагаемому методу количественных параметров прогнозируемого события – места, силы и времени – естественно, ограничивается приближенным характером используемых эмпирических соотношений и неоднородностью среды. Но то обстоятельство, что ВСШ наиболее адекватно отражают динамику накопления и сброса упругой деформации в земной коре, позволяют рассчитывать на соответствующую точности определения этих параметров требованиям к среднесрочному прогнозу землетрясений. К тому же, как показывают наши оценки, наблюдения ВСШ намного менее затратны и трудоемки, чем прямые деформационные или наклономерные наблюдения. В отличие от последних, наблюдения ВСШ могут быть проведены в режиме периодического «опроса» пунктов наблюдения с помощью одного или нескольких приемников. Такой подход учитывает то обстоятельство, что подготовка значимого сейсмического события, на прогнозирование которого направлены наблюдения – медленно протекающий процесс, и изменениями параметров ВСШ в течение одного цикла измерений ($\square 1 \div 3$ мес.) можно пренебречь.

Таким образом можно резюмировать, что наиболее оптимальным путем реализации нашего алгоритма [1,2] в зоне сейсмического затишья в Центральном Дагестане является изготовление 1 или нескольких приемников ВСШ, предложенных нами в [12,13], и проведение периодических, с интервалами в несколько лет, площадных наблюдений ВСШ на выбранных пунктах.

При условии корректного определения коэффициентов трансформации упругих деформаций в другие геофизические поля, площадные наблюдения последних также могут быть использованы для реализации прогноза по предложенному алгоритму.

Литература

1. Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. Способ прогнозирования тектонических землетрясений. Патент РФ № 2660771. Опубликовано 09.07.2018 г. в БИ №19 (7 с.).
2. Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. О возможности прогнозирования энергетических параметров, координат очага и времени ожидаемого землетрясения по площадным деформационным наблюдениям //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2015. № 64. С. 146-150.
3. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения / М.: Наука, 1984. 188 с.
4. Прогноз землетрясений. Изд-ство «Дониш», Москва-Душамбе, 1983-1984. Отв. ред. М.А. Садовский. ИФЗ РАН. № 3, 1983. 216 с.
5. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования сильных землетрясений. Патент РФ № 2282220, БИ № 23, 2006. (8 с)
6. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования землетрясений. Патент РФ № 2325673, БИ № 15, 2008 (6 с)
7. Таймазов Д.Г. О возможности прогнозирования землетрясений по площадным наблюдениям микросейсмической эмиссии //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Выпуск № 50. Махачкала, 2006. С. 214-218.
8. Мамаев С.А., Таймазов Д.Г., Магомедов Р.А., Магомедов Ю.М., Магомедов А.Г., Никуев Р.Ю. Наблюдения за микросейсмической эмиссией на территории Дагестана //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, 2009. № 55. С. 279-281.
9. Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Открытия в СССР в 1983 г. М.: ВНИИПИ, 1984. С. 46.
10. Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н. Вариации приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума в результате изменений напряженного состояния среды //Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 73-83.
11. Салтыков В.А. Предвестники камчатских землетрясений 2013-2016 гг., выявленные по методике ВСШ //В сборнике: Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Шестой научно-технической конференц. 2017. С. 169-173.
12. Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. Сейсмоприемник резонансный сканирующий: Патент РФ №2635399. Опубликовано: 13.11.2017.
13. Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д. Широкополосный резонансный сейсмоакустический приемник Патент РФ № 2660768. Опубликовано 09.07.2018 г. в БИ №19 (11 с.).
14. Таймазов Д.Г., Сиражудинов М.М., Кадиев Р.И. Определитель параметров и координат деформационных аномалий в земной коре по площадным наблюдениям геополей. Программа для ЭВМ. РОСПАТЕНТ. Свидетельство № 2016663005 от 28.11.2016.
15. Таймазов Д.Г., Сиражудинов М.М., Кадиев Р.И. Алгоритм и программа определения параметров и координат деформационных аномалий в земной коре по площадным наблюдениям геополей //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, № 62, 2013. С. 300-306.
16. Mogi K. Earthquake prediction. Academic Press. Japan, Inc., 1988. 382 p.
17. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана: макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период VII в. н. э. до 2005 г. /Российская акад. наук,

Геофиз. служба, Дагестанский филиал; [сост. О. А. Асманов и др.]; отв. ред. Р. А. Левкович. Махачкала, 2007.

18. Мамаев С.А. Оценка статистической динамической модели здания и статистической модели сейсмического воздействия на основе инженерно-сейсмометрической информации // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт комплексных проблем строительных конструкций и сооружений им. В.А. Кучеренко. Москва, 1991.

19. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А. О перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНИИ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. редактор. 2011. С. 224-235.

20. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Абакаров А.Д., Таймазов М.Д. О состоянии и перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2013. № 51. С. 36-42.

УДК 550.34

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-52-62

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ НА ПЛОТИНЕ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС СО СДВИГАМИ ПО УРОВНЮ И ПЕРЕРЫВАМИ В РЯДАХ НАБЛЮДЕНИЙ

¹Дещеревский А.В., ²Идармачев Ш.Г., ³Марченко М.Н.

¹Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта

²Институт геологии ДФИЦ РАН

³Московский Государственный Университет им. Ломоносова

В работе анализируются наблюдения за кажущимся сопротивлением пород в скважине, расположенной в непосредственной близости от плотины Чиркейской ГЭС. Внутри периода наблюдений 2006–2017 гг. выявлен аномальный характер сезонного хода кажущегося сопротивления в период с августа 2008 г. по февраль 2010 г. включительно. Построен отфильтрованный от сезонных вариаций ряд кажущегося сопротивления. Предложен итеративный алгоритм оценивания сезонной вариации, который может быть использован для сигналов с сильными трендами и перерывами в наблюдениях. Установлено, что наиболее целесообразным является оценка ряда с удалением аномального участка

Ключевые слова: сезонная функция СФ, среднесезонная функция ССФ, метод наложения эпох, кажущееся сопротивление.

EVALUATION OF SEASONAL VARIATION APPEARING RESISTANCE OF ROCKS IN A WELL ON A CHIRKEY HPP DAM WITH LEVEL SHIFTS AND INTERRUPTIONS IN OBSERVATION RANGE

¹Descherevsky A.V., ²Idarmachev Sh.G., ³Marchenko M.N.

¹Establishment of the Russian Academy of Sciences Institute of Physics of the Earth named after O.Yu. Schmidt. ²Institute of geology by FRC RAS of Dagestan. ³Moscow State University. Lomonosov

The paper analyzes observations of apparent rock resistance in a well located in the immediate vicinity of the Chirkey Dam. Inside the observation period 2006–2017 revealed the anomalous nature of the seasonal course of apparent resistance in the period from August 2008 to February 2010 inclusive. A series of apparent resistance, filtered out from seasonal variations, is constructed. An iterative algorithm for estimating seasonal variation is proposed, which can be used for signals with strong trends and breaks in observations. It was found that the most appropriate is the assessment of the series with the removal of the abnormal area.

Keywords: seasonal function of the SF, the average seasonal function of the SSF, the method of superposition of epochs, apparent resistance.

1. Введение и постановка задачи

Основная цель геофизического мониторинга состоит в изучении явлений, протекающих в земной коре [19, 20]. Однако получаемые в полевых условиях данные всегда сильно зашумлены вследствие действия поверхностных факторов, прежде всего связанных с явлениями погоды, но и не только с ними. Поэтому при анализе данных геофизического мониторинга одна из важнейших задач состоит в разделении эндогенных и экзогенных эффектов [8].

Один из подходов к решению этой проблемы состоит в выявлении и исключении влияния сезонных факторов, которые, как принято считать, преимущественно связаны с экзогенным воздействием. Сравнительное обсуждение некоторых алгоритмов, используемых с этой целью, имеется в работе [4]. В работе [6] подробно рассмотрен подход, основанный на расчете среднесезонной функции методом наложения эпох с последующим сглаживанием. Целесообразность применения указанного подхода обусловлена тем, что он позволяет исключать из сигнала влияние целого комплекса экзогенных факторов без вычисления индивидуального вклада каждого фактора (что чаще всего невозможно в силу целого ряда причин), а опираясь лишь на

предположении о приблизительно одинаковом суммарном влиянии этих факторов в разные годы. Как показывает практика обработки экспериментальных сигналов геофизического мониторинга, во многих случаях такой подход является оптимальным.

Однако, указанный подход имеет и определенные ограничения, связанные с характеристиками анализируемого сигнала. В частности, если исходный ряд имеет одновременно сдвиги уровня и перерывы (пропуски) в наблюдениях, то это будет приводить к существенным искажениям среднесезонной функции. Такая ситуация не является типичной в практике режимных геофизических наблюдений, однако и назвать ее исключительной невозможно. Поскольку получаемые при геофизическом мониторинге временные ряды часто являются уникальными, а их получение требует больших затрат времени и огромных усилий, задача корректного исключения экзогенных эффектов при анализе таких рядов является крайне важной. В полной мере это относится к ряду наблюдений кажущегося сопротивления (R_k), проводившихся в скважине в непосредственной близости от плотины Чиркейской ГЭС [16, 17]. Эти наблюдения имеют исключительную научную значимость, поскольку они проводились непрерывно на особо важном объекте в течение многих лет с помощью прецизионной аппаратуры и фактически не имеют аналогов в мировой практике.

Ранее этот ряд наблюдений уже анализировался нами в работах [12, 14, 17]. Было установлено, что наблюдаемые вариации R_k имеют сильный сезонный ход. Для фильтрации сезонных эффектов мы использовали метод среднесезонной функции [6], который оказался вполне адекватным при обработке наблюдений за 2010–2014 г. Однако более полный ряд наблюдений R_k , включающий данные с 2006 по 2017 г, содержит существенные изменения среднегодового уровня (абсолютных значений) сопротивления в 2007–2010 г. Причем, в наблюдениях в этот период имеются значительные перерывы (пропуски данных). Все это приводит к тому, что построенная стандартным способом среднесезонная функция имеет аномальный вид с двумя или даже тремя (в зависимости от сглаживания) максимумами в течение года. Причем, эти особенности не находят своего соответствия на исходной кривой.

На самом деле, все эти особенности являются артефактами, возникающими из-за наложения фрагментов сигнала с разным уровнем и пропусков наблюдений. При наложении эпох рассчитанное значение среднесезонной функции (ССФ) в каждый момент времени определяется как среднее арифметическое от значений сигнала в разные годы. Если в течение некоторого года уровень сигнала был существенно выше обычного, то это приведет к соответствующему смещению среднего арифметического. Однако в пределах тех интервалов времени, когда наблюдения не проводились (перерывы в наблюдениях) такого смещения уровня не происходит. Из-за этого на среднесезонной функции возникают скачки (сдвиги уровня) в указанные моменты времени.

Таким образом, стандартный алгоритм обработки временных рядов данных [6] не позволяет эффективно оценивать и удалять сезонные эффекты из рассматриваемого сигнала. Цель настоящей работы – построение усовершенствованного алгоритма оценки сезонных эффектов в сигнале, имеющем сдвиги уровня и пропуски в наблюдениях, и вычисление отфильтрованного от сезонной компоненты ряда вариаций кажущегося сопротивления на плотине Чиркейской ГЭС за период 2006–2017 гг., то есть за полный срок наблюдений.

2. Исходные данные и предварительная обработка экспериментального сигнала

Наблюдения R_k проводились в скважине, расположенной в правом боту плотины Чиркейской ГЭС с помощью четырехэлектродного зонда электрического зондирования, установленного на глубине 100 м от дневной поверхности. Зонд находится на 30 м ниже минимального сезонного уровня воды в скважине, что обеспечивает эффективное подавление влияния от различного рода экзогенных помех, атмосферного давления, температуры и осадков. Расстояние между питающими электродами зонда равно 9 м, что обеспечивает зондирование массива горных пород объемом до 300 м³. Процесс зондирования происходит непрерывно с помощью спе-

циальной установки «Георезистор», позволяющей получать ежесуточные результаты R_k относительно погрешностью измерений не выше 0,2% [18].

Рассмотрим график исходного ряда наблюдений R_k с 2006 по 2017 г. (рис. 1, кривая 1). Как показывает анализ, в 2007–2008 гг. среднегодовое значение сопротивления было существенно выше, чем в 2010–2017 гг. Это можно интерпретировать, как сдвиг уровня, причем точный момент сдвига уровня и его характер (резкое изменение или плавный тренд) остаются неясными из-за сложной структуры ряда в 2008–2009 гг. и значительных перерывов в наблюдениях в этот период.

Также можно обратить внимание, что форма и амплитуда сезонных вариаций сопротивления заметно менялись в разные годы. Так, в 2007–2008 гг. амплитуда сезонного максимума и среднегодовое значение сопротивления были существенно выше, чем в 2010–2017 гг. При этом летний минимум 2009 г. оказался значительно глубже остальных летних минимумов. Причем, эта аномалия совпала с резким снижением среднегодового уровня R_k со 110 до 95 Ом·м. Поэтому не вполне понятно, следует ли считать данную аномалию исключительно сезонным эффектом, или же она имеет другую природу.

Таким образом, экспертный анализ исходного ряда не позволяет дать однозначное заключение об отнесении целого ряда наблюдаемых вариаций к сезонной либо к остаточной компоненте сигнала. Вследствие этого невозможно, опираясь на априорные соображения, выбрать оптимальную модель фильтрации сезонной компоненты из числа ранее предложенных нами моделей [4, 13]. Необходим более детальный анализ.

Однако прежде, чем приступить к такому анализу, целесообразно выполнить две подготовительные операции, минимизирующие нежелательное влияние специфических особенностей сигнала. Первая операция состояла в медианном сглаживании высокочастотных флуктуаций в скользящем окне шириной 5 сут. [Губанов, 2004]. Отфильтрованный ряд показан на рис. 1 (кривая 2).

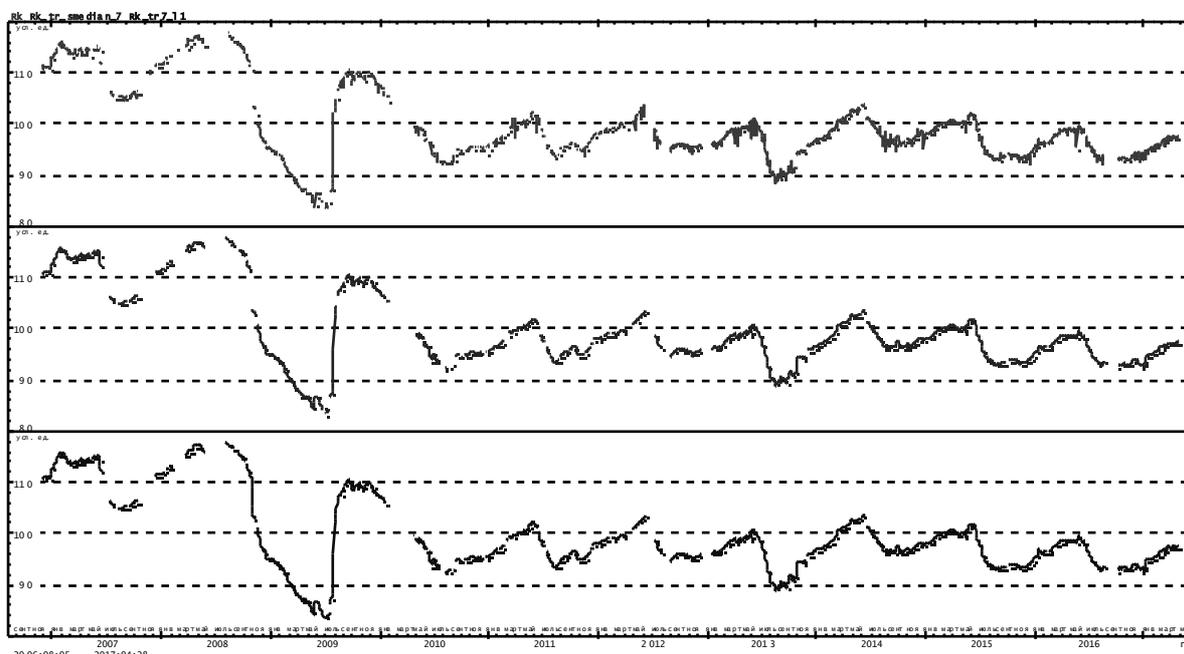


Рис. 1. Фильтрация выбросов (кривая 2) и заполнение коротких пропусков данных (кривая 3) в ряде наблюдений R_k (кривая 1) для расчета ССФ

Затем были интерполированы локальные пропуски данных. Заполнялись только значения, соседние с реальными наблюдениями (рис. 1, кривая 3).

3. Искажение среднесезонной функции при ее оценке по ряду со смещением уровня и большими перерывами в наблюдениях

Рассмотрим модельный пример, демонстрирующий искажения ССФ, возникающие при расчете СФ методом наложения эпох, если в ряде имеется сдвиг уровня и пропуски данных. Для этого мы построили модель сезонной вариации – синусоиду, а затем добавили к одному из ее фрагментов константу с двумя перерывами в наблюдениях (рис. 2, кривая 1). При расчете несплавленной среднесезонной функции методом наложения эпох вместо ожидаемой синусоиды на выходе алгоритма получается странная кривая с несколькими сдвигами уровня (кривая 2 на рис. 2). Ясно, что эта кривая совершенно не соответствует нашим интуитивным представлениям о характере сезонной вариации для модельного ряда. Поэтому при расчете сезонной вариации подобные особенности сигнала необходимо рассматривать, как помехи, и принимать меры к нейтрализации их влияния. Например, в приведенном примере достаточно сдвинуть первый фрагмент сигнала вниз (вычесть из сигнала константу) таким образом, чтобы исключить разрыв сигнала на границе фрагментов. После выполнения такой операции рассчитанная среднесезонная функция будет представлять собой чистую синусоиду. Заметим, что заполнять пропуски наблюдений при таком подходе не требуется [11].

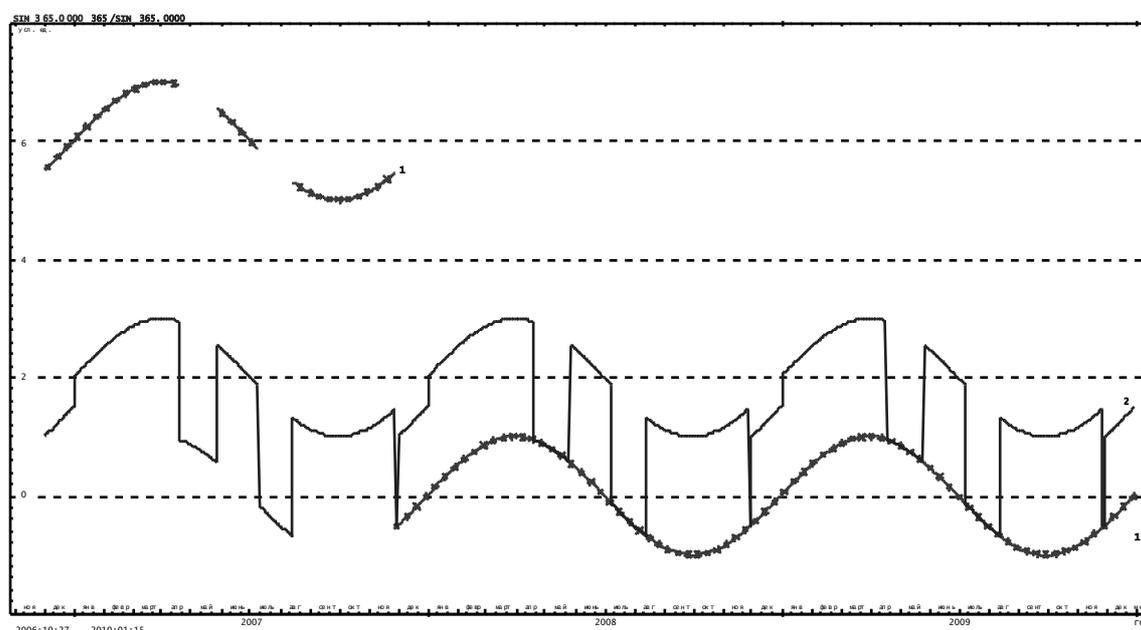


Рис. 2. Пример среднесезонной функции (2), рассчитанной по ряду-синусоиде со смещением уровня и с пропусками (1) методом наложения эпох без учета особенностей исходного ряда

Вернемся теперь к анализу ряда R_k в скважине (рис. 1). Как видно из рисунка, этот ряд содержит резкие изменения уровня в 2008–2009 гг. При этом первый (смещенный) фрагмент ряда в 2006–2008 гг. включает большое количество пропусков. Причем, эти изменения уровня, скорее всего, нельзя отнести к сезонным эффектам (ниже эти предположения будут обоснованы более строго с применением формализованных методов). Таким образом, при расчете среднесезонной функции они должны рассматриваться именно как помехи, причем способные существенно исказить результаты расчета (как это видно из рассмотренного выше примера). Однако является ли влияние этих эффектов настолько значительным, чтобы существенно исказить среднесезонную функцию?

На рис. 3 показана ССФ, рассчитанная стандартным способом для ряда R_k . Видно, что даже при 45-суточном циклическом сглаживании она имеет сложную форму с тремя максимумами. Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что все три этих максимума либо вообще не имеют

явных аналогов на исходной кривой, либо существенно смещены относительно них по фазе. Более детальный анализ показывает, что столь сложная форма рассчитанной ССФ действительно обусловлена эффектами, продемонстрированными выше в модельном примере (рис. 2). Таким образом, для корректной оценки среднесезонной вариации необходимо устранить либо влияние смещений уровня, либо влияние пропусков данных, либо влияние обоих этих эффектов.

Подчеркнем, что такая постановка вопроса несколько не противоречит тому, чтобы в дальнейшем при анализе несезонной компоненты указанные особенности ряда R_k рассматривались как полезный сигнал. Наоборот, исключая эти эффекты при расчете ССФ, мы добиваемся того, что все они максимально полно перейдут в ряд отфильтрованного остатка, благодаря чему будет обеспечена возможность их изучения в максимально чистом виде.

4. Итеративная оценка среднесезонной функции для ряда R_k

Наиболее очевидный способ исключить влияние сдвигов уровня состоит в том, чтобы отфильтровать трендовую составляющую исходного ряда и затем оценить ССФ по ряду без тренда, в котором сдвиги уровня устранены. Однако в данном случае такое решение явно не оптимально. Дело в том, что резкие изменения уровня происходят за очень короткое время (не более нескольких месяцев) и имеют разный знак: положительное смещение в 2007–2008 гг., а также во второй половине 2009 г., и отрицательное в первой половине 2009 г. (см. рис.3).

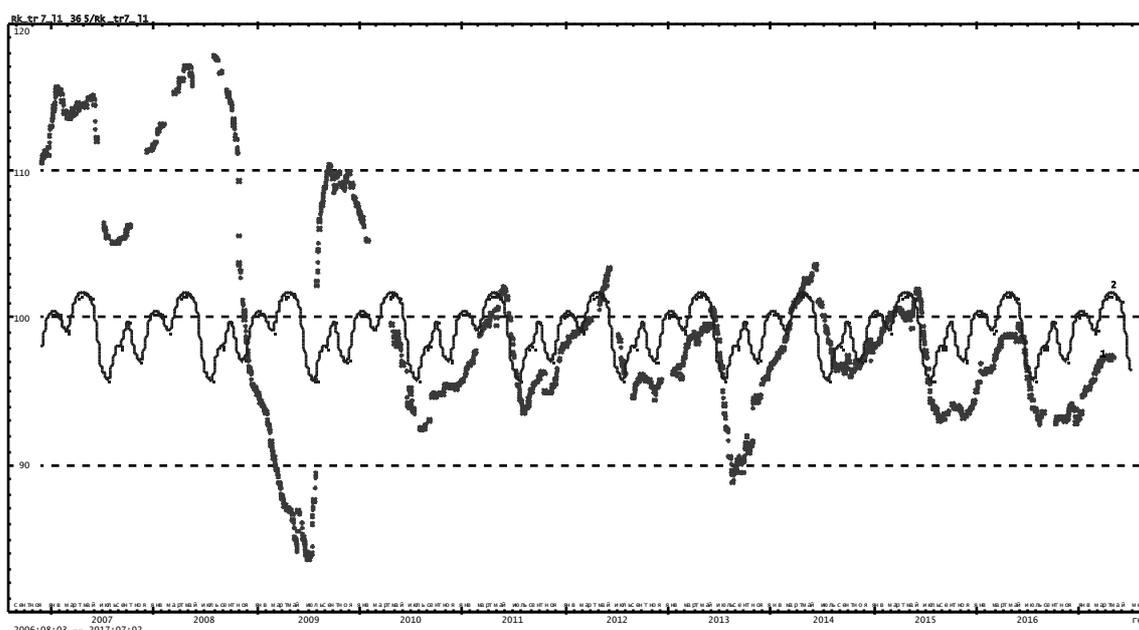


Рис. 3. Оценка ССФ методом наложения эпох без учета изменений уровня ряда. 1 – ряд R_k с удаленными выбросами и локально интерполированными пропусками. 2 – формально рассчитанная наложением эпох среднесезонная функция, циклически сглаженная треугольным ядром шириной 45 сут

Таким образом, для устранения сдвигов уровня трендовая составляющая должна включать не только длиннопериодные вариации, но и относительно более высокочастотные, с характерной продолжительностью порядка нескольких месяцев. Но в этом случае из ряда будут частично отфильтрованы и сезонные вариации. То есть, такая фильтрация либо не решит задачу устранения сдвигов уровня, либо одновременно с решением поставленной задачи исказит целевую компоненту сигнала.

Другой возможный подход состоит в интерполяции пропусков данных. На первый взгляд, этот подход противоречит пропагандируемой нами идее, опирающейся на использование при расчетах только реально выполненных наблюдений [10, 12]. Как указано в этих работах, любой

способ заполнения пропусков данных всегда опирается на некоторую модель ряда, а она может быть не вполне адекватна реальной структуре ряда. Из-за этого при заполнении пропусков в сигнал неизбежно вносятся какие-то искажения [11, 1, 2, 15, 21].

Однако в данном случае эти искажения можно минимизировать. Дело в том, что конечная цель интерполяции пропусков – это вычисление среднесезонной функции. После того, как ССФ будет построена, для всех последующих расчетов (включая вычисление сигнала с отфильтрованной сезонной компонентой), можно вновь использовать ряд с незаполненными пропусками, который не содержит искажений, внесенных интерполяцией. Таким образом, задача сводится к тому, чтобы процедура заполнения пропусков не вносила бы никаких искажений именно в ССФ. Но при такой постановке вопроса оптимальная модель ряда вполне очевидна. А именно, чтобы гарантировать отсутствие искажений, необходимо и достаточно заполнить пропуски значениями среднесезонной функции.

Может показаться, что найденное решение бесполезно с практической точки зрения. Ведь получается, что для заполнения пропусков (что необходимо для построения ССФ) мы уже должны знать ту самую ССФ, значения которой и будут использоваться при заполнении пропусков. Однако в действительности здесь нет никакого противоречия. Точнее, оно легко разрешается, если оценивать среднесезонную функцию итеративно. На первой итерации выполняется грубый расчет среднесезонной функции по ряду с линейно интерполированными перерывами в наблюдениях. На второй итерации только что рассчитанная среднесезонная функция используется для заполнения пропущенных интервалов, после чего вычисляется уточненный вариант среднесезонной функции, и так далее. При этом для устранения разрывов на границах заполняемых интервалов к среднесезонной функции добавляется линейный тренд.

На практике при отсутствии длительных перерывов в наблюдениях результат сходится очень быстро. В случае рассматриваемого ряда необходимая точность (определенная по методике [6]) достигается уже на второй итерации (рис. 4). Видно, что построенная таким способом среднесезонная функция (рис. 4, кривая 3) гораздо лучше описывает реальные сезонные вариации, чем кривая, построенная ранее путем формального наложения эпох (рис. 3, кривая 2).

Вместе с тем, анализ показывает, что полученная среднесезонная функция (рис. 4, кривая 3) все же имеет два недостатка. Во-первых, она имеет достаточно плавную форму и поэтому не очень хорошо описывает резкие экстремумы ССФ. Однако такое сглаживание ССФ в данном случае является необходимым и даже недостаточным в соответствии с критериями, предложенными в [Дещереvский, Сидорин, 1999a]. Согласно этим критериям, сглаживание должно исключать все особенности ССФ, которые не являются значимыми. Модель среднесезонной функции основана на предположении о постоянстве сезонных эффектов в разные годы. Если реальные сезонные вариации сильно меняются от года к году, то это значит, что фиксированная среднесезонная функция описывает их определенной погрешностью.

Или, что то же самое, среднесезонное описание содержит большую погрешность. В такой ситуации нет смысла вычислять ССФ с точностью до мелких особенностей, которые заведомо не превосходят погрешность. В наиболее грубом приближении сезонные вариации принято описывать синусоидой, которая вообще не содержит особенностей, специфичных для конкретного ряда. Сглаженная среднесезонная функция представляет собой естественное логическое развитие этой модели, включающее такие детали. Однако сглаживание должно быть достаточным, чтобы избежать "эффекта сверхподгонки" [6].

Второй недостаток построенной среднесезонной функции (рис. 4, кривая 3) заключается в том, что она катастрофически плохо описывает реальный ход изменений R_k в 2008–2009 гг. К сожалению, в рамках модели фиксированной среднесезонной функции этот недостаток невозможно исправить. Это говорит о целесообразности использования более адаптивной модели сезонной вариации для описания реальных сезонных эффектов в ряде R_k . Однако такая адаптивность не должна достигаться за счет включения в ССФ незначительных особенностей, что в действительности не улучшает аппроксимацию сезонного хода, а лишь создает иллюзию такого улучшения [13].

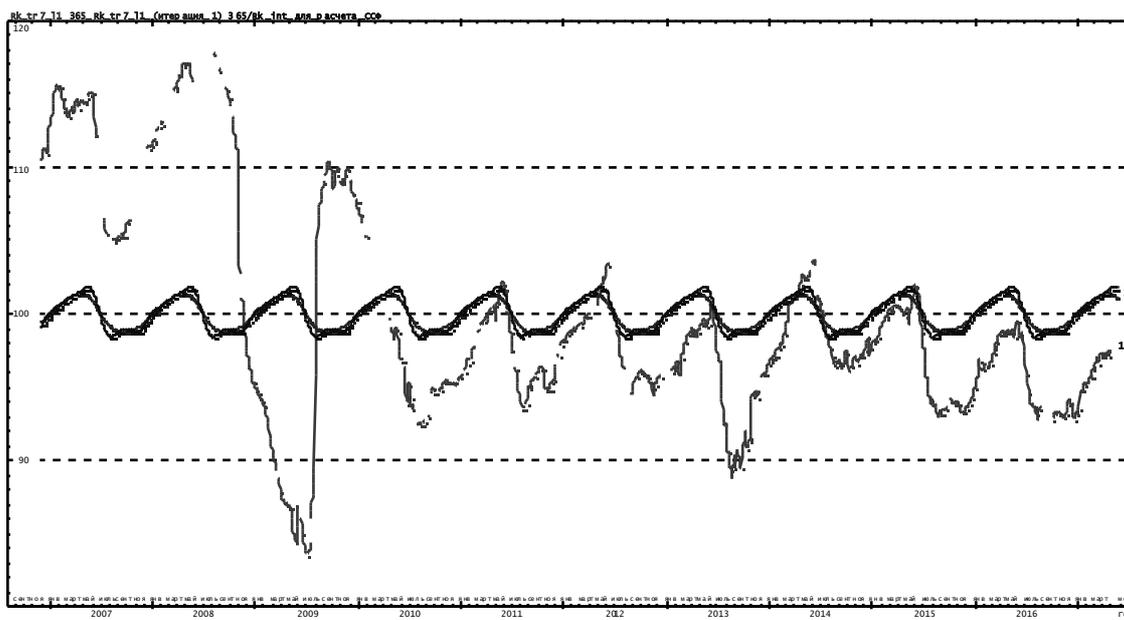


Рис. 4. Две итерации расчета ССФ. Исходный ряд R_k с удаленными выбросами (кривая 1), и две итерации оценки ССФ (кривые 2 и 3)

5. Оценка коэффициента стабильности сезонной вариации

Учитывая столь резкие изменения амплитуды и формы сезонной вариации, целесообразно изучить их подробнее, применив с этой целью какие-то более формализованные критерии. Ранее для оценки стабильности ритма мы использовали коэффициент корреляции между средним ритмом и текущей вариацией ряда, оцениваемый в скользящем окне [8, 4, 131]. На рис. 5 показан коэффициент стабильности сезонного ритма для ряда R_k , рассчитанный в скользящем окне шириной 1 год. Видно, что корреляция почти в течение всего срока устойчиво положительная и меняется в диапазоне 0,8–0,9. И только в период с февраля 2008 г. по июль 2010 г. коэффициент корреляции резко падает и даже принимает отрицательные значения.

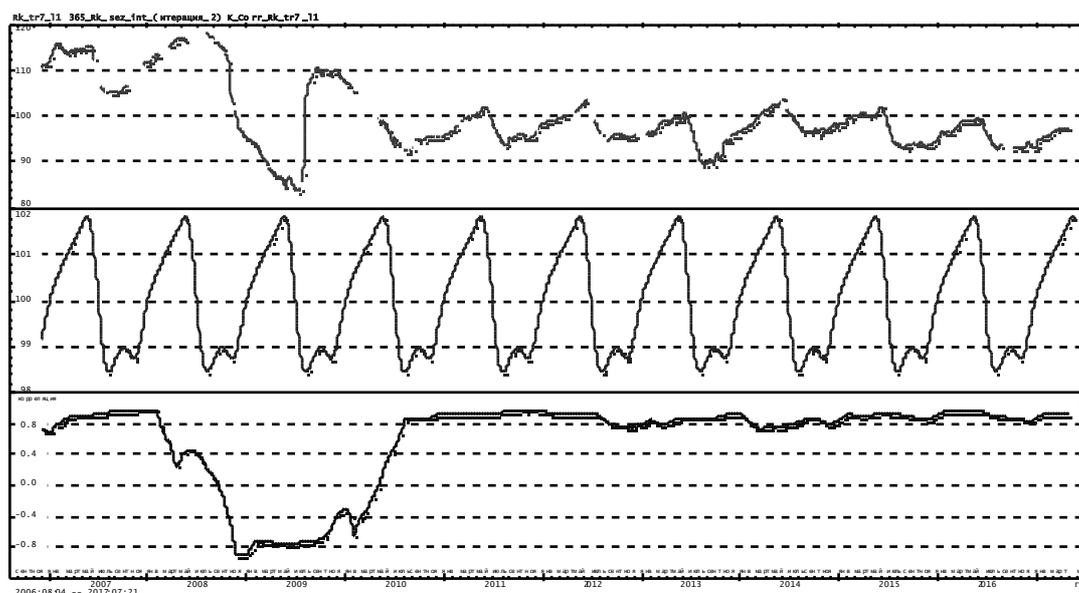


Рис.5. Коэффициент корреляции между исходным сигналом R_k (кривая 1) и рассчитанной ССФ (кривая 2) в скользящем окне шириной 1 год (кривая 3).

Учитывая, что ширина окна оценивания корреляционного коэффициента равна 1 году, это означает, что в период с августа 2008 по февраль 2010 гг. (включительно) сезонный ход R_k имел резко нетипичную форму. Фактически, он был противофазен нормальному сезонному ходу. Это весьма необычная ситуация. Здесь следует привести пример аналогичных сезонных вариаций R_k , полученных в районе Гармского геофизического полигона Института физики Земли РАН в Таджикистане (рис. 6) [19]. При анализе сезонных вариаций кажущегося сопротивления ничего подобного не наблюдалось, несмотря на то, что кажущееся сопротивление измерялось на более, чем 20 разносах в течение более, чем 10 лет [5, 7]. Природу наблюдаемой аномалии обсудим позже, а пока можно сделать вывод о целесообразности исключения аномального участка при оценке среднесезонной вариации.

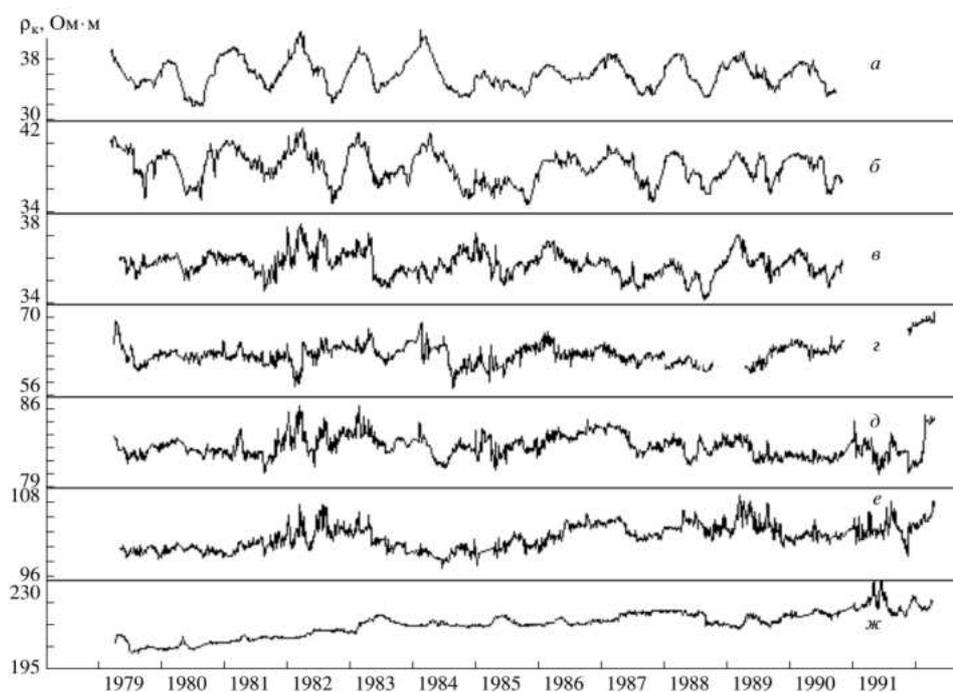


Рис. 6. Графики исходных рядов кажущегося сопротивления на разносах AB/MN: а- 9/2 м, б-18/2 м, в- 30/10 м, г- 130/40 м, д- 200/40 м, е- 650/40 м, ж- 3000/500 м [19]

6. Оценка среднесезонной вариации с исключением аномального интервала

После исключения указанного фрагмента ряд распадается на два участка, причем средний уровень в 2006–2008 г. значительно выше, чем в 2010–2017 г. По этой причине для исключения скачков ССФ в моменты разрыва ряда первый фрагмент (т.е. данные за 2006–2008 гг.) был приведен к уровню 2010–2017 г. Для этого из всех значений была вычтена константа 14,65, равная разности между реальными наблюдениями и среднесезонной функцией, построенной по данным за 2010–2017 гг.

После этого был выполнен расчет ССФ по скорректированному ряду (рис. 7). Как видно из графика, при таком варианте расчетов среднесезонная вариация во все годы очень близка к фактическому ходу вариаций R_k . Более того, оценки показывают, что для сглаживания ССФ в этом случае достаточно использовать всего лишь 45-суточное окно. Причем, этот расчет выполнялся строго по фактическим наблюдениям, без предварительной интерполяции перерывов в наблюдениях "черновиком" среднесезонной функции, как в описанном выше итеративном алгоритме. Это говорит о том, что вне "аномального" периода (с августа 2008 по февраль 2010 гг. включительно) сезонная вариация R_k была исключительно стабильна и устойчиво повторя-

лась от года к году. Это серьезный аргумент в пользу алгоритма, оценивающего среднесезонную функцию по ряду с исключенным аномальным участком.

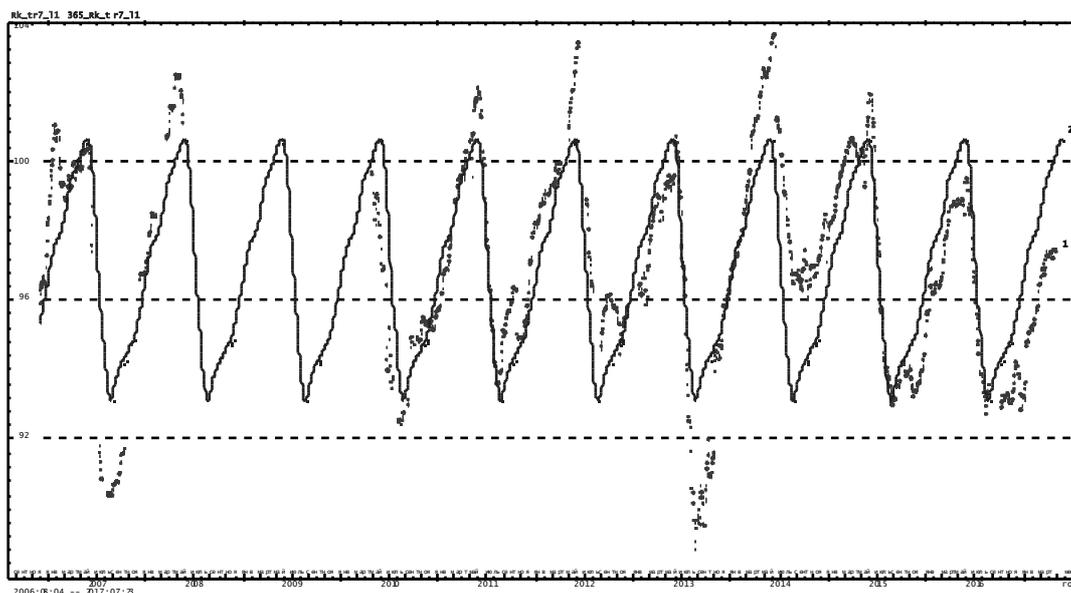


Рис. 7. Оценка ССФ (кривая 2) по данным с исключением аномального периода 2008–2010 гг. и смещением наблюдений за 2006–2008 гг. к уровню второй части ряда (кривая 1)

На рис. 8 сравниваются два способа оценки ССФ. Сравнение явно показывает, что алгоритм с исключением аномального участка предпочтительнее. ССФ-2 гораздо лучше аппроксимирует резкие особенности реальных вариаций в 2010–2017 гг. В 2006–2008 гг. обе рассчитанные ССФ удовлетворительно описывают реальные вариации (с учетом смещения уровня), и нельзя однозначно сказать, какой вариант лучше. Что же касается аномального интервала (август 2008 – февраль 2010 гг. включительно), то в этот период ни одна из кривых не позволяет аппроксимировать реальные изменения R_k .

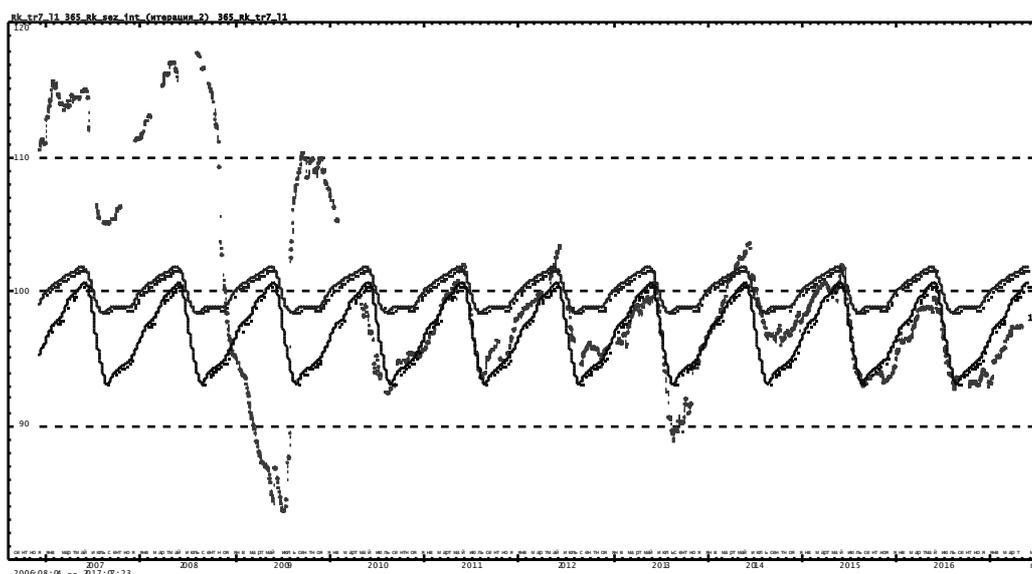


Рис. 8. Сравнение двух способов оценки ССФ: с интерполяцией (кривая 2) и по данным с исключением аномального периода 2008–2010 и смещением наблюдений за 2006–2008 к уровню второй части ряда (кривая 3). Точками показан исходный ряд R_k (кривая 1)

Выводы:

1. Предложен итеративный алгоритм оценивания сезонной вариации, который может быть использован для обработки рядов данных с сильными трендами и перерывами в наблюдениях, то есть в тех ситуациях, когда алгоритм среднесезонной функции работает неудовлетворительно.
2. Установлен аномальный характер сезонного хода кажущегося сопротивления в период с августа 2008 г. по февраль 2010 г. включительно.
3. Для описания сезонной компоненты вариаций кажущегося сопротивления предложена модель сезонной вариации, предполагающая строгое постоянство сезонного хода в разные годы.
4. Построен отфильтрованный от сезонных вариаций ряд R_k . Предложены пути дальнейшего улучшения качества сезонной фильтрации рассматриваемого ряда.

Литература

1. Абраменкова И.В., Круглов В.В. Методы восстановления пропусков в массивах данных // Программные продукты и системы. 2005. № 2. С. 18–22
2. Грачев А.В. К восстановлению пропусков в экспериментальных данных // Вестн. ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Сер. Радиофизика. 2004. Вып. 2. С. 15–23
3. Губанов В.А. Анализ воздействия выбросов на результат сезонной корректировки временных рядов // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2004. № 2
4. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Сидорин А.Я. Некоторые алгоритмы фильтрации для геофизических временных рядов // Физика Земли. 1996. № 2. С. 56–67.
5. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Сидорин А.Я. Спектрально-временные особенности сезонных изменений кажущегося сопротивления // Физика Земли. № 3. 1997. С. 53–63.
6. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Некоторые вопросы методики оценки среднесезонных функций для геофизических данных. М.: ОИФЗ РАН, 1999а. 40 с. ISBN: 5–201–926–3.
7. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Экспериментальные исследования сезонных вариаций кажущегося сопротивления применительно к задачам сейсмологии // Сейсмические приборы. М.: ОИФЗ РАН, 1999б. Вып. 32. С. 62–75.
8. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Параметризация временных рядов активности животных для геофизических исследований // Моделирование геофизических процессов. М.: ОИФЗ РАН, 2003. С. 137–155
9. Дещеревский А.В., Лукк А.А., Сидорин А.Я. Флуктуации геофизических полей и прогноз землетрясений // Физика земли, 2003, № 4, С. 3–20.
10. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Никольский А.Н., Сидорин А.Я. Технологии анализа геофизических временных рядов. Часть 2. WinABD – пакет программ для сопровождения и анализа данных геофизического мониторинга // Сейсмические приборы. М.: ОИФЗ РАН, 2016а. Т. 52. №3. С. 50–80.
11. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Никольский А.Н., Сидорин А.Я. Проблемы анализа временных рядов с пропусками и методы их решения в программе WinABD // Геофизические процессы и биосфера. 2016б. Т. 15. № 3. С. 5–34.
12. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Никольский А.Н., Сидорин А.Я. Программный пакет ABD – универсальный инструмент для анализа данных долговременных наблюдений // НТР, 2016в. том 95. № 4. С. 35–48. DOI: 10.21455/std2016.4–6.
13. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Никольский А.Н., Сидорин А.Я. Анализ ритмов в экспериментальных сигналах // Геофизические процессы и биосфера. 2017. Т. 16, № 2. С. 55–73.
14. Дещеревский А.В., Идармачев И.Г., Идармачев Ш.Г. Анализ влияния сезонных изменений уровня воды в Чиркейском водохранилище и атмосферных параметров на кажущееся сопротивление горных пород в скважине, расположенной в районе правого борта плотины ГЭС // Геология и геофизика Юга России, 2016. №3. С. 48–57.
15. Злоба Е., Яцкив И. Статистические методы восстановления пропущенных данных // Computer Modelling & New Technologies. 2002. V. 6, N 1. pp. 51–61
16. Идармачев И.Ш., Вариации электрических параметров горных пород в районе плотины Чиркейской ГЭС, связанные с геодинамическими и сейсмическими процессами. – Канд. дисс. 2017. – 167 с.

17. Идармачев И.Ш. Вариации кажущегося сопротивления массива горных пород верхнего мела в районе плотины Чиркейской ГЭС под воздействием переменной нагрузки водохранилища // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2014. № 52. С. 11–15.

18. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Мусаев М.А., Идармачев И.Ш. Оценка деформации земной коры в районе Чиркейской ГЭС от сезонной нагрузки от водохранилища по геофизическим данным // Геофизика. 2015. №2. С.31–37.

19. Изучение природных вариаций геофизических полей. М.: ОИФЗ РАН, 1994. –166 с.

20. Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2014. – 554 с.

21. Литтл Р.Дж.А., Рубин Д.Б. Статистический анализ данных с пропусками. М.: Финансы и статистика, 1990. 336 с.

УДК 552.02

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-63-69

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА И СМЕЖНЫХ РАЙОНОВ ЗА 2017 г.

Асманов О.А., Асекова З.О.

Единая геофизическая служба РАН

Дан анализ сейсмичности территории Дагестана за 2017 г. Приведены карты эпицентров землетрясений с локализацией 1764 сейсмических событий. Представлено распределение землетрясений по районам и энергетическим классам, приведены графики выделения сейсмической энергии и числа землетрясений по месяцам. Описаны 5-6 балльные землетрясения 2017г.: 3 мая в юго-западной части и 7 декабря в южной части Дагестана.

Ключевые слова: энергетический класс, сейсмическая активность, афтершок.

STRONG EARTHQUAKES ON THE TERRITORY OF DAGESTAN AND ADJACENT DISTRICTS FOR 2017

Asmanov O.A., Asekova Z.O.

Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences

An analysis of the seismicity of the territory of Dagestan for 2017 is given. Earthquake epicenters maps with localization of 1764 seismic events are given. The distribution of earthquakes by regions and energy classes is presented; graphs of seismic energy release and the number of earthquakes by months are presented. 5-6 point earthquakes of 2017 are described: May 3 in the southwestern part and December 7 in the southern part of Dagestan.

Keywords: energy class, seismic activity, aftershock.

Неравномерное распределение сети стационарных сейсмических станций на территории Дагестана и прилегающих районах не позволяет изучать сейсмичность всех сейсмоактивных зон на одинаковом энергетическом уровне. Так, для отдельных районов, таких как Дагестанский Клин (Центральная часть Дагестана), по наблюдениям стационарных сейсмических станций могут быть определены эпицентры с $K_p \geq 6$. А для Южного и Северного Дагестана и смежных районов только с $K_p \geq 7-8$.

Для составления сводной карты эпицентров по районам Дагестана достаточно было выбрать землетрясения с энергией выше представительного энергетического класса, начиная с которого влияние расположения станций не сказывалось на распределении отмеченных эпицентров. Анализ условий регистрации землетрясений низших энергетических классов в этих районах показывает, что для всего района исследований достаточно представительным является класс $K_p = 7$. Пропуск этих землетрясений возможен только по краям исследуемого региона, основная же масса их регистрируется вполне надежно. Об этом можно судить хотя бы по графикам повторяемости. График повторяемости землетрясений составлялся для исследования территории в целом. В обработке использовались, как правило, все землетрясения в эпицентре, находящиеся в пределах данного региона, начиная с класса $K = 7$. Большое число наблюдаемых землетрясений позволяет достаточно уверенно провести усредняющую прямую на графике повторяемости (рис. 1) по точкам землетрясений 7-11 классов энергии.

К сильным землетрясениям условно относятся все землетрясения начиная с $K_p \geq 10$. Землетрясения с $K_p \geq 10$ уже вызывают макросейсмический эффект на поверхности земли. Если землетрясение произошло непосредственно под населенным пунктом на небольшой глубине, могут быть незначительные повреждения зданий.

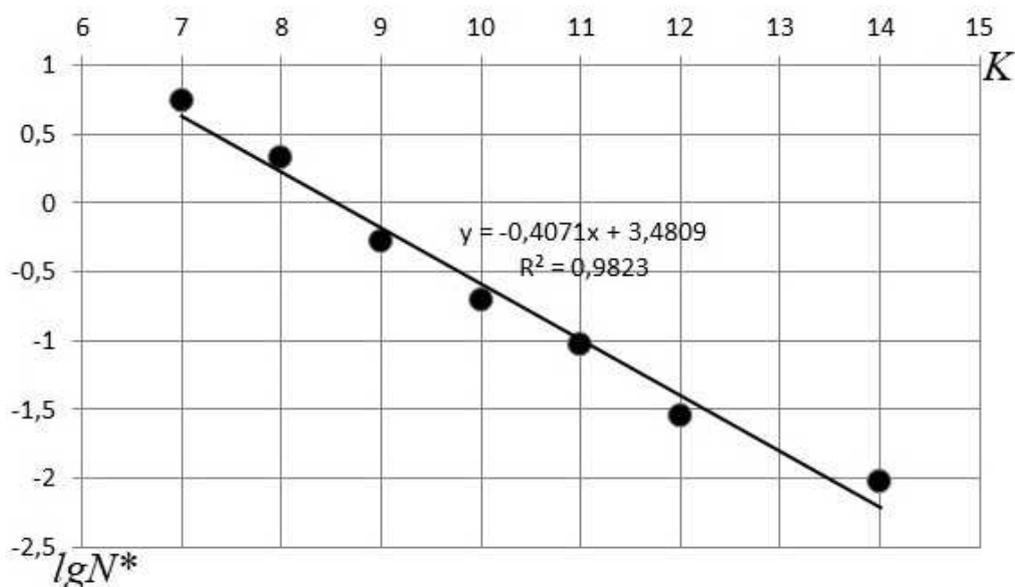


Рис. 1. График повторяемости землетрясений для территории Дагестана и смежных районов за 2017 г.

Наблюдения за землетрясениями в 2017г. осуществлялись 16 сейсмическими станциями Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Всего зарегистрировано 1764 землетрясения с $K_p \geq 5$. Определение координат гипоцентров землетрясений проводилось в основном методом засечек с использованием местных годографов [7]. Распределение землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 10$ приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 10$.

K_p	10	11	12	13,6
N	20	10	3	1

На территории Дагестана повышенной активностью отмечались эпицентральные зоны двух сильных землетрясений 2017 г. 1) Цурибское землетрясение – 3 мая с $K_p=13,6$; $J_0=5-6$ баллов; 2) Ляхлинское землетрясение – 7 декабря с $K_p=11,94$; $J_0 = 5-6$ баллов. Эти землетрясения вызваны растянувшейся во времени и пространстве афтершоковой деятельностью.

В настоящем сообщении излагаются некоторые результаты наблюдений Дагестанской сети станций за 2017 г. Они будут дополнены и уточнены после обработки данных наблюдений 2018 г.

Пространственное распределение землетрясений с $K_p \geq 5$ в 2017 г. изображено на рис. 2.

В пределах исследуемой территории произошло 1764 землетрясения, что меньше, чем в 2016г. ($N_{\Sigma}=2126$) [1] в 1,2 раза. Выделившаяся суммарная сейсмическая энергия равна ($\Sigma E=1,429 \cdot 10^{14}$ Дж) и в 1,41 раза превышает искомое в 2016 г. ($\Sigma E=1,014 \cdot 10^{14}$ Дж).

На основании анализа данных распределения эпицентров на рассматриваемой территории в рассматриваемый период, можно сказать, что имеется ряд сейсмически активных районов, на территории которых в большем или меньшем количестве, но ежегодно происходят землетрясения. Следует отметить эпицентры северо-восточного простирания в зоне (области) Андийского хребта, Чиркейского водохранилища, в эпицентральной зоне Дагестанского землетрясения 14 мая 1970г. с $M_{LN} = 6,6$ [7]. К наиболее сильным землетрясениям относятся следующие события: 15 января 2017г. в 00 ч. 10 мин. с $K_p = 8,56$ [1]; 14 мая в 14ч. 53мин. с $K_p = 9,4$ (сила сотрясений в населенных пунктах Дубки, Чиркей около 3 баллов) и 30 декабря в 15 ч. 06мин. с $K_p = 8,51$ [1].

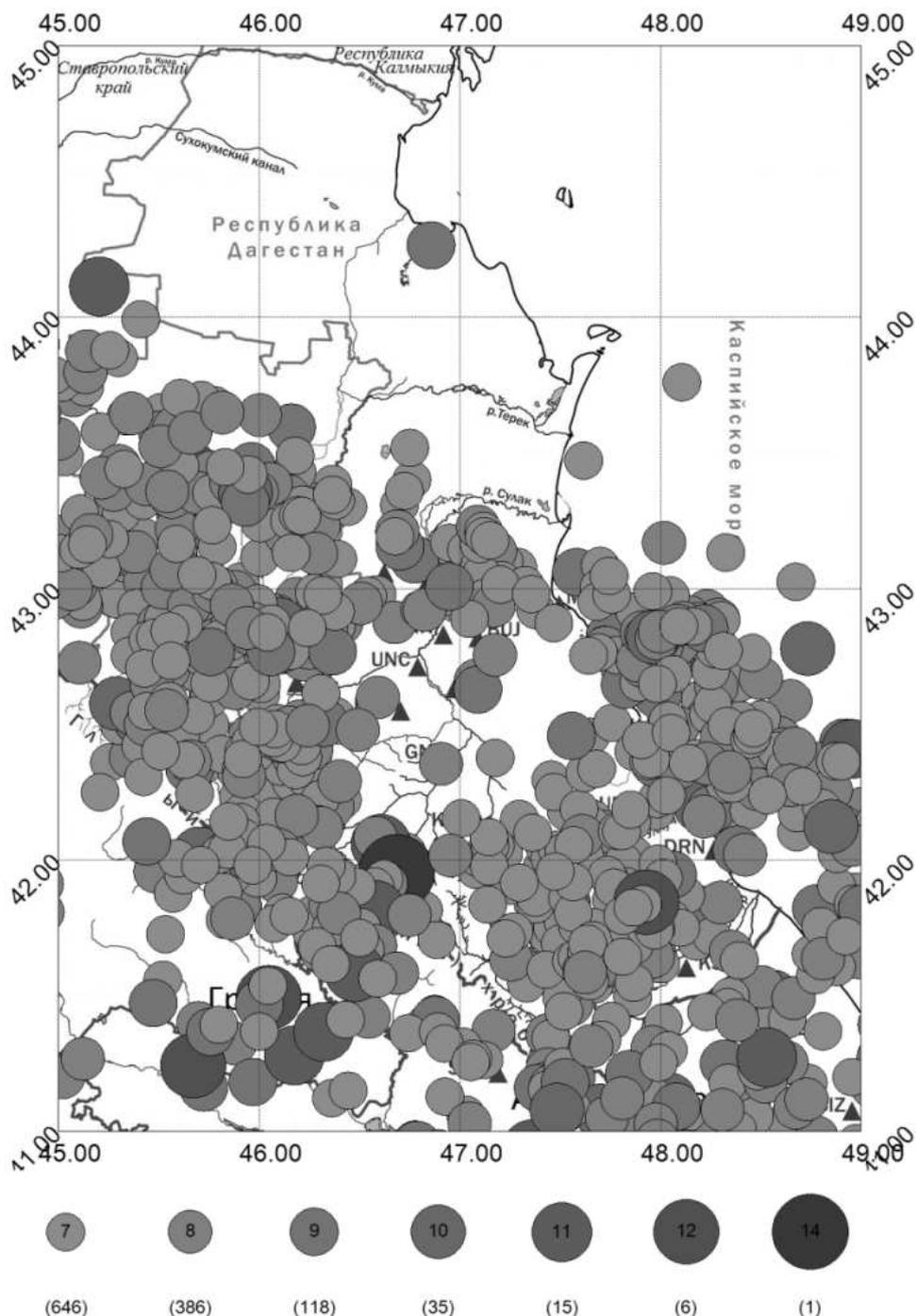


Рис.2. Карта эпицентров землетрясений Дагестана и смежных районов за 2017 г.

В пределах Главного (водораздельного) Хребта локализованы очаги землетрясений: 15 апреля в 18 ч. 16 мин. с $K_p=10,48$; 24 апреля в 12 ч. 02 мин. с $K_p=10,8$ (ощущалось в Хунзахе с силой, не превышающей 3-4 балла [4]) и 21 сентября в 09 ч. 06 мин. с $K_p=10,58$ [1]. 3 мая было зарегистрировано землетрясение в южной части Чародинского района поблизости Главного Кавказского хребта в 08 ч. 53 мин. с $K_p=13,6$; $h=26$ км. Данное землетрясение интенсивностью сотрясений в эпицентре $J_0=5-6$ баллов [1,6]. Оно ощущалось в селении Цуриб с интенсивностью $J_0=5-6$ баллов. Макросейсмические проявления Цурибского землетрясения отмечены в Чародинском, Гунибском и Лакском районах. Сотрясения с $J_1=5$ баллов отмечено в селениях Ругуджа, Кумух, Гуниб, Вачи, Гергебиль, Акуша и Леваша. Здесь повсеместно ощущались вертикальные удары практически всеми людьми, находившимися в состоянии покоя в

одноэтажных домах. Отмечен испуг людей и беспокойство домашних животных. Некоторые из очевидцев в испуге выходили из домов, гремела посуда, дребезжали оконные стекла, дрожала мебель, с полок падали неустойчивые предметы [7].

В Южном Дагестане в районе Самурского и Джуфдагского хребтов локализовано большое число землетрясений с $K_p = 8-9$, а также здесь произошли землетрясения: 7 декабря в 05 ч. 23 мин. с $K_p = 11,94$ [1], $h = 14,5$ км, $J_0 = 5-6$ баллов. В селении Ляхля в Хивском районе Южного Дагестана ощущалось землетрясение силой до 5-6 баллов. В районе эпицентра землетрясение достигало 5-6 баллов. Землетрясение ощущалось в селах: Юхари-Ярак, Ашага-Ярак, Куш-тиль, Хучни, Чувек, Ничрас, Зильдик, Кондик, Пилиг, Межгюль, Хив, Череве. В районе эпицентра землетрясение достигло максимальной силы 5-6 баллов. В с. Ляхля землетрясение ощущалось всеми жителями, находящимися в помещениях в состоянии покоя. Жители почувствовали два подземных толчка, первый слабый, второй сильный, как взрыв с севера, слышался гул с характерным звуком взрыва, после которого начались колебания. Люди в испуге выбегали из домов. Завхоз школы рассказал, что вдруг раздался грохот, за которым последовало землетрясение. В результате посыпалась штукатурка над дверным проемом [5].

В акватории Каспийского моря локализовано 8 землетрясений с $K_p = 9$. Кроме того, произошли землетрясения: 20 марта в 22 ч. 34 мин. с $K_p = 9,6$; 30 мая в 19 ч. 16 мин. с $K_p = 10,5$; 31 мая в 05 ч. 04 мин. с $K_p = 9,8$. Оно ощущалось интенсивностью 3 балла в селении Дагестанские Огни и г. Дербенте [4].

В приграничной зоне с Чеченской Республикой произошли следующие землетрясения: 6 марта в 02 ч. 26 мин. с $K_p = 10,91$; 20 марта в 21 ч. 34 мин. с $K_p = 9,6$; 10 мая в 17 ч. 40 мин. с $K_p = 10,6$ [1], которое вызвало сотрясение силой 3 балла в Грозном [4].

На государственной границе северной части Республики Азербайджан на суше зарегистрированы следующие землетрясения старших энергетических классов: 5 июня в 07 ч. 20 мин. с $K_p = 11,05$; 7 июня в 18 ч. 25 мин. с $K_p = 12,2$ [1] и 12 землетрясений 9-10 класса.

В юго-восточной зоне Грузии к наиболее сильным землетрясениям относятся события, произошедшие 7 июля в 22 ч. 36 мин. с $K_p = 11,6$; 1 сентября в 06 ч. 36 мин. с $K_p = 11,1$; 6 сентября в 17 ч. 43 мин. с $K_p = 10,93$.

Одиночные землетрясения отмечены в северном Дагестане – 22 апреля в 03 ч. 28 мин. с $K_p = 10,56$ [1]. Локализован очаг в приграничной зоне со Ставропольским краем. Второй очаг 3 октября в 05 ч. 50 мин. с $K_p = 8,6$ [1] приурочен к береговой части Северного Дагестана с Каспийским морем.

В 2017 г. на исследуемой территории было определено положение эпицентров для 91 землетрясения с $K_p \geq 9$.

В таблице 1 представлен список наиболее сильных землетрясений с $K_p \geq 10$.

Таблица 1.

Землетрясения Дагестана и смежных районов с $K_p \geq 10$.

№	Число, месяц, год	t_0 , ч. мин.	Координаты эпицентра		h, км	K_p	Район
			$\varphi^0 N$	$\lambda^0 E$			
1	14.01.2017	15-28	41,12	48,04	17	9,6	Азербайджан
2	15.02.2017	06-26	41,50	48,56	18	9,63	Азербайджан
3	03.03.2017	02-21	42,09	45,91	16	9,6	Дагестан
4	06.03.2017	01-26	43,35	45,66	20	10,91	Чечня
5	28.03.2017	01-45	43,11	45,02	17	9,68	Чечня
6	15.04.2017	18-16	42,03	45,70	15	10,48	Грузия
7	22.04.2017	03-28	45,20	44,12	36	10,55	Дагестан
8	24.04.2017	12-02	42,06	46,61	18	10,84	Дагестан

9	03.05.2017	08-53	41,96	46,68	16	13,6	Дагестан
10	10.05.2017	17-40	43,44	45,65	30	10,58	Чечня
11	10.05.2017	20-40	42,30	48,75	17	9,52	Каспий. море
12	13.05.2017	19-52	42,52	45,41	13	9,76	Чечня
13	30.05.2017	19-16	42,85	48,04	14	10,47	Каспий. море
14	31.05.2017	05-04	42,38	48,58	15	9,78	Каспий. море
15	05.06.2017	07-20	41,82	46,58	16	11,05	Азербайджан
16	07.06.2017	18-25	41,24	45,67	21	12,2	Азербайджан
17	18.06.2017	14036	42,80	48,06	15	9,81	Каспий. море
18	06.07.2017	18-21	42,46	46,11	24	10,27	Дагестан
19	17.07.2017	22-36	41,47	46,00	19	11,0	Грузия
20	29.07.2017	14-09	42,87	46,10	13	10,03	Чечня
21	07.08.2017	12-00	42,78	48,73	22	9,68	Каспий. море
22	22.08.2017	00-03	42,58	45,29	24	10,1	Чечня
23	01.09.2017	06-36	41,28	46,17	20	11,1	Грузия
24	06.09.2017	01-45	41,08	47,70	16	10,49	Азербайджан
25	06.09.2017	17-43	41,37	46,32	19	10,93	Грузия
26	21.09.2017	09-06	41,59	46,48	15	10,58	Азербайджан
27	23.09.2017	11-40	41,08	47,48	19	10,2	Азербайджан
28	04.10.2017	02-36	41,28	48,53	17,5	10,62	Азербайджан
29	11.10.2017	00-12	42,41	48,95	23	11,2	Каспий. море
30	03.11.2017	14-05	42,83	47,96	13	9,51	Каспий. море
31	07.12.2017	05-23	41,85	47,93	14	11,94	Дагестан
32	13.12.2017	01-52	42,13	48,85	26	9,70	Каспий. море
33	19.12.2017	07-58	42,37	45,96	16	9,91	Чечня
34	20.12.2017	14-10	43,36	45,93	19	9,74	Чечня

Изменения во времени числа землетрясений и величины, выделившейся суммарной сейсмической энергии на территории Дагестана и сопредельных государств по данным [1] представлены (рис.3).

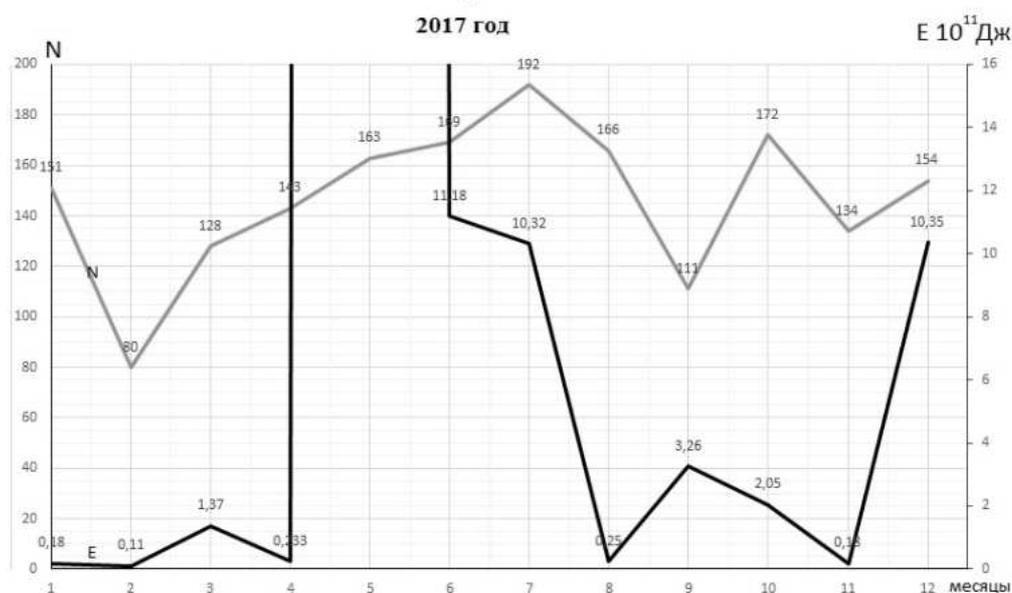


Рис. 3. Число землетрясений и значения логарифма их суммарной сейсмической энергии за 2017 г. [1]

Число землетрясений во времени стабильно меняется в пределах $N=80-192$. Резкое увеличение выделенной сейсмической энергии наблюдалось в мае, когда в юго-западной зоне произошло землетрясение с $K_p = 13,6$, а также в декабре, когда произошли упомянутые выше землетрясения в Южном Дагестане.

В пределах Дагестана и сопредельных районов в 2017г. определены параметры 1899 землетрясений с $K_p = 3 \div 13,6$ [1]. Гипоцентры 1899 землетрясений (89 % от общего числа) ≤ 20 км. 199 из них находятся в слое $h = 21-35$ км. 9 событий (0,5 %) произошло в интервале $h=37-80$ км (рис.4). Самое глубокое $h = 76$ км землетрясение в исследуемом районе произошло 14 июля в 23 ч. 03 мин. с $h = 76$ км в районе Хунзаха.

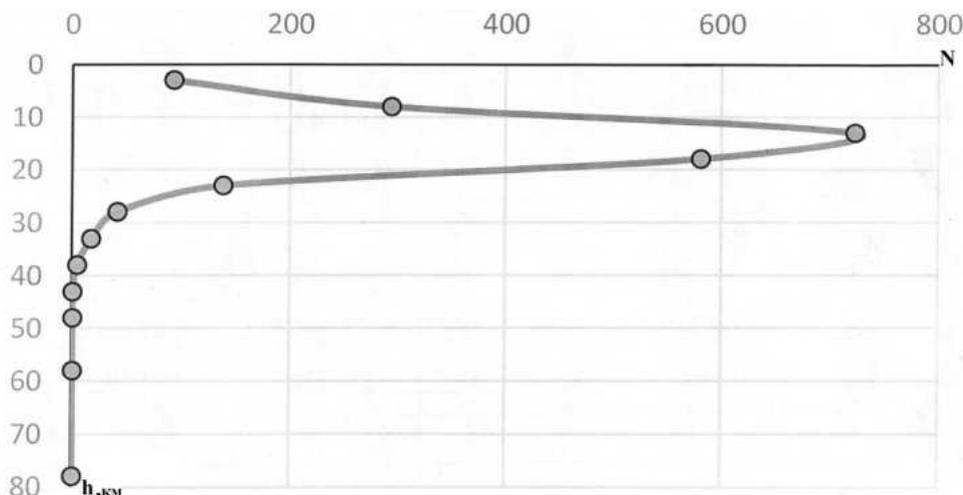


Рис. 4. Распределение землетрясений Дагестана и смежных районов по глубинам гипоцентров в 2017г.

В целом сейсмический процесс на территории Дагестана в 2017 г. протекал активнее нежели в предшествовавшем 2016 г.

Литература

1. Адилев З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мегомедова Д.С., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагателова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2016-2017гг. //Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН. Махачкала, 2017-18.
2. Адилев З.А., Асманов О.А., Левкович Р.А. Годографы территории Дагестана. //Землетрясения Северной Евразии. Обнинск, 2014. С.463-468.
3. Ананьин И.В., Кулиев Ф.Г. Касумкентское землетрясение 20 апреля 1966г. Землетрясения в СССР в 1966г. М.: «Наука» 1970.С. 44-55.
4. Архивные материалы по макросейсмическому обследованию землетрясений Дагестана ДФ ГС РАН Махачкала.
5. Асманов О.А., Адилев З.А., Магомедов Х.Д. Ляхлинское землетрясение 7 декабря 2017г с $K_p=12$ ($M=4,5$) //Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XXIII Международной сейсмологической школы. Обнинск, 2018. С.26-29.
6. Асманов О.А., Даниялов М.Г., Ашурбеков З.И. Цурибское землетрясение 3 мая 2017г. на территории Дагестана //Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XXII Международной сейсмологической школы. Обнинск, 2017.С. 29-32.
7. Шебалин Н.В., Крестников В.Н., Рустанович Д.Н., Штейнберг В.В., Ананьин И.В., Асманов О.А., Быстрицкая Ю.В., Вандышева Н.В., Кулиев Ф.Г., Левкович Р.А., Плетнев К.Т., Широкова Е.В. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970г. //Землетрясения в СССР в 1970г.М.: «Наука», 1973. С. 28-49.

Bibliography

1. Adilov Z.A., Asekova Z.O., Hamidova A.M., Megomedova DS, Musalaeva Z.A., Pavlichenko I.N., Sagatlova E.Yu., Shakhmardanova S.G. Catalog (original) of Dagestan earthquakes for 2016-2017 // Funds DF FIC EGS RAS. Makhachkala, 2017–18
2. Adilov Z.A., Asmanov O.A., Levkovich R.A. Hodographs of the territory of Dagestan. // Earthquakes of northern Eurasia. Obninsk, 2014. p. 463-468.
3. Ananin I.V., Kuliev F.G. Kasumkent earthquake on April 20, 1966 - In the book: "Earthquakes in the USSR in 1966 M .:" Science "1970. 1970. p. 44-55.
4. Archival materials on the macroseismic survey of earthquakes of Dagestan DF GS RAS, Makhachkala.
5. Asmanov, OA, Adilov, Z.A., Magomedov, Kh.D. Lyakhlin'sky earthquake on December 7, 2017 with $KP = 12$ ($M = 4,5$) // Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the XXIII International Seismological School. Obninsk, 2018. p. 26-29.
6. Asmanov, OA, Daniyalov, MG, Ashurbekov, Z.I. Tsurib earthquake on May 3, 2017 in the territory of Dagestan // Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the XXII International Seismological School. Obninsk, 2017. p. 29-32.
7. Shebalin N.V., Krestnikov V.N., Rustanovich D.N., Steinberg V.V., Ananyin I.V., Asmanov O.A., Bystritskaya Yu.V., Vandyshva N.V., Kuliev F.G., Levkovich R.A., Pletnev K.T., Shirokova E.V. Dagestan earthquakes on May 14, 1970 // Earthquakes in the USSR in 1970. Moscow: Nauka, 1973. P. 28-49.

УДК 552.02

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-70-74

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ДАГЕСТАНА И СМЕЖНЫХ РАЙОНОВ ЗА 2018 ГОД

Асманов О.А., Асекова З.О.

Единая геофизическая служба РАН

Дается анализ сейсмической обстановки территории Дагестана и смежных районов за 2018 год. Рассматривается характер распределения очагов землетрясений исследуемой территории, а также анализ сейсмической активности сейсмоактивных районов за исследуемый период.

Ключевые слова: сейсмостанция, полоса эпицентров, водохранилище, глубина гипоцентра.

FEATURES OF THE SEISMICITY OF DAGESTAN AND ADJACENT AREAS IN 2018

Asmanov O.A., Asekova Z.O.

Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences

An analysis of the seismic situation of the territory of Dagestan and adjacent areas for 2018 is given. The nature of the distribution of earthquake foci of the study area, as well as the analysis of seismic activity of seismically active areas during the study period are considered.

Keywords: seismic station, epicenter band, reservoir, depth of hypocenter.

Оценка сейсмичности территории Дагестана и смежных районов проводилась на базе региональной сети Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН, состоящей из 16 цифровых станций.

За 2018 г. на исследуемой территории были определены основные параметры для 1647 землетрясений с $K_p \geq 5$ [1].

Сейсмичность территории Дагестана и смежных районов за 2018 г. была неравномерной, как по числу землетрясений, так по выделившейся в их очагах суммарной энергии по месяцам. Пространственное распределение землетрясений с $K_p \geq 5$ в рассматриваемый период изображено на рис. 1.

Следует отметить полосу эпицентров, которая тянется с юго-запада на северо-восток в районе Чиркейского водохранилища и эпицентральной зоны Дагестанского землетрясения 1970 г. протяженностью около 57 км.

Наиболее сильные землетрясения зарегистрированы здесь: 13 апреля в 00 ч. 27 мин. с $K_p=9,9$, 18 сентября в 5 ч. 04 мин. с $K_p=9,15$, четыре землетрясения 8-го класса и 28 землетрясений 7-го класса.

В приграничной зоне с Чеченской республикой произошли следующие землетрясения: 14 октября в 13 ч. 51 мин. с $K_p=11,53$, два землетрясения 10-го класса, восемь землетрясений 9-го, четырнадцать землетрясений 8-го класса и 38 землетрясений 7 класса.

Эти землетрясения можно привязать к Пшекись-Тырнаускому разлому, который проходит в центральной части Дагестана в широтном направлении.

В пределах Главного Кавказского хребта зарегистрированы землетрясения 22 октября в 12 ч. 39 мин. с $K_p=11$, десять землетрясений 9-го класса и 35 землетрясений 8 класса.

В акватории Каспийского моря локализовано большое число землетрясений 8-го и 9-го классов, а также два землетрясения 10-го класса (28 августа в 15 ч. 30 мин. с $K_p=10,35$ и 17 ноября в 18 ч. 24 мин. $K_p=10,35$) [1].

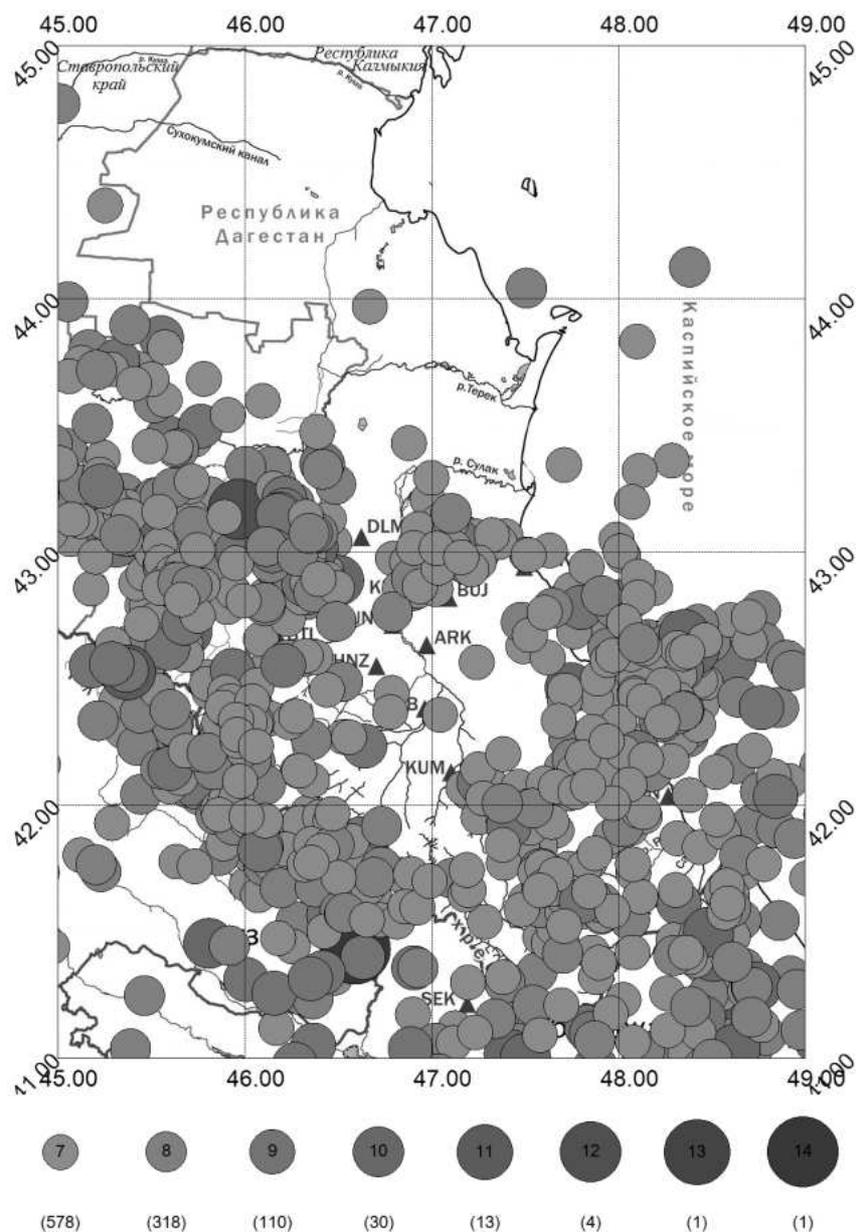


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Дагестана и смежных районов за 2018 г.

В Южном Дагестане в районе Самурского и Джуфудагского хребтов локализовано большое число землетрясений 8-го и 7-го классов. Землетрясение 16 января в 2 ч. 49 мин. с $K_p=8,6$ реализовалось в долине реки Уллучай, а землетрясение 21 февраля в 15 ч. 56 мин. с $K_p=8,7$ локализовано в долине реки Самур. 8 июля в 3 ч. 35 мин. произошло землетрясение с $K_p=9,0$ в районе Самурского хребта, а 24 августа в 00 ч. 51 мин. в Гимриозеньском разломе зарегистрировано землетрясение с $K_p=8,86$ локализован. Землетрясение 27 октября в 14 ч. 04 мин. с $K_p=9,0$ реализовалось в долине реки Гюльгеричай, где в прошлом произошло землетрясение 20 апреля 1966г. с $M_s=5,4$; $J_0=8$ баллов [4].

Наибольшее энергетическое насыщение эпицентрами землетрясений в 2018г. приходится на приграничную область на стыке границ Грузии и Азербайджана, где реализовались землетрясения 5 июня 18 ч. 40 мин. с $K_p=14,0$ (очаг локализован в Закатальском районе и проявилось сотрясениями в очаговой зоне до 6 баллов)[2]. Оно вызвало сотрясение на территории Южного Дагестана с интенсивностью 4-5 баллов в с. Рутул, Тлярата, 4 балла – в селах Цуриб, Кумух, Ахты, 3-4 балла – в селах Гуниб, Уркарах, Хунзах, Маджалис, Ляхля, 3 балла – в населенных пунктах Сергокала, Дербент, Избербаш. Землетрясение сопровождалось небольшими

афтершоками. Ранее в этой зоне регистрировались сильные землетрясения, к примеру, 7 мая 2012г. землетрясение с $M=5,6$ сопровождалось сотрясениями в эпицентре до $J_0=7-8$ баллов [3, 4].

В пределах северо-восточной части Азербайджана сконцентрированы следующие очаги землетрясений: 27 февраля в 3 ч.10 мин. с $K_p=11,22$; 2 июля в 21 ч. 43 мин. с $K_p=9,7$; 12 августа 21 ч. 35 мин. с $K_p=9,83$; 5 октября в 22 ч. 29 мин. с $K_p=9,98$ [1]; два землетрясения 9-го класса и 16 землетрясений 8-го класса.

Характерной особенностью сейсмичности за последние годы является относительное понижение числа землетрясений. Так, в 2018 г. число землетрясений $N=1647$ по сравнению с 2017 г. ($N=1762$) уменьшилось в 1,07 раза и уровень выделенной сейсмической энергии в 2018 г. $\sum E=0,153 \cdot 10^{14}$ Джв 1,24 раза меньше, чем в 2017 г. ($\sum E=0,143 \cdot 10^{14}$ Дж).

Относительное распределение событий по глубинам, изображенное на гистограмме (рис.2) позволяет выделить как общие их черты, так существенные различия. Общей чертой распределения землетрясений по глубине в двух зонах является относительно большое число гипоцентров 1400 землетрясений (85% от общего числа) расположились в верхнем глубинном интервале $h \leq 25$ км. 1098 из них (67%) находились в слое $h=6-20$ км. 244 события (15%) – в нижнем интервале глубины $h \geq 26$ км.

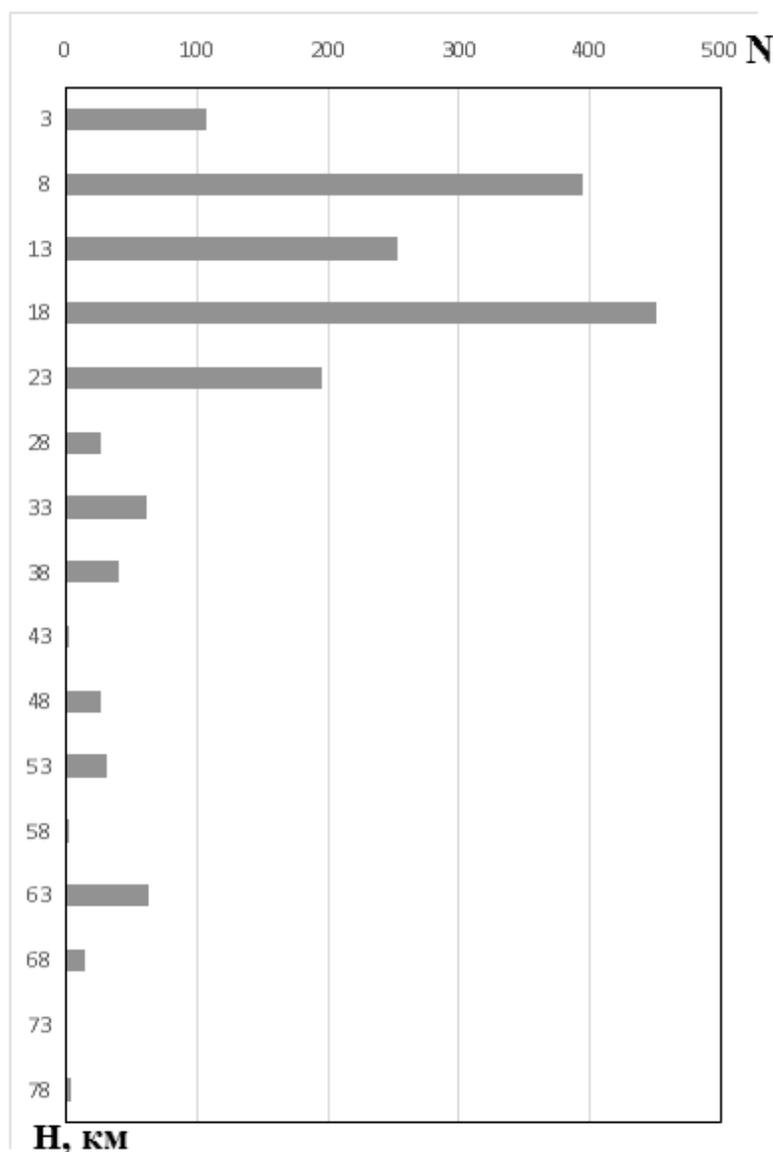


Рис. 2. Распределение землетрясений Дагестана и смежных районов по глубине гипоцентров в 2018г.

Изменение во времени (по месяцам) числа землетрясений и величины, выделившейся суммарной сейсмической энергии на территории Дагестана и сопредельных территорий в 2018 г. по данным оригинала каталога [1] представлена на рис.3. Как видим, число землетрясения меняется в пределах $N=70-80$ событий в месяц и достигает максимума в январе и октябре за счёт афтершоков упомянутых выше землетрясений 30 января в 23 ч. 58 мин. с $K_p=9,66$, 14 октября в 13 ч. 5 мин. с $K_p=11,53$ и 22 октября в 12 ч. 39 мин. с $K_p=11$ [1].

Максимумы выделившейся сейсмической энергии приходятся на февраль и июнь. Это связано с землетрясением 27 февраля в 19 ч. 03 мин. с $K_p=11,22$ в северо-восточной части Азербайджана (смежной с Дагестаном) и Закавказским землетрясением 5 июня 18 ч. 40 мин. с $K_p=14$ [1].

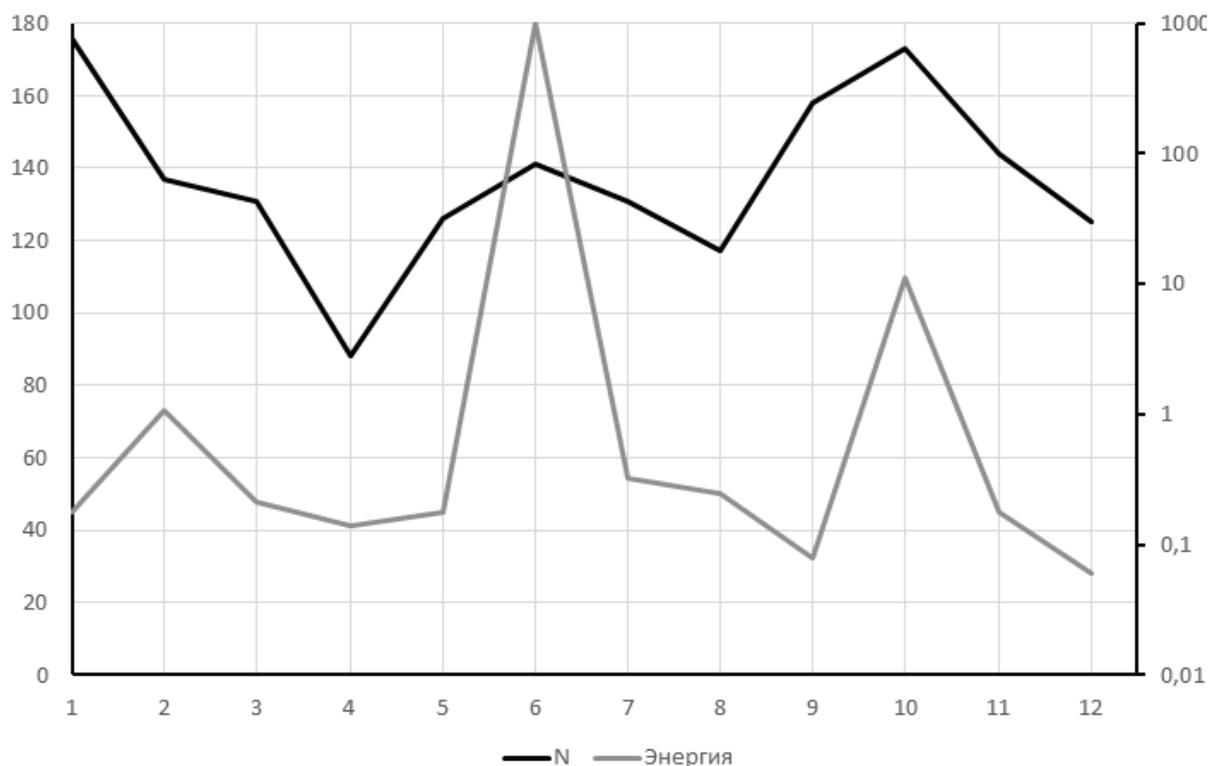


Рис. 3. Распределение землетрясений по месяцам и логарифм их суммарной сейсмической энергии за 2018 г по [1].

Из особенностей распределения очагов более слабых землетрясений исследуемой территории можно отметить следующее. В районе Дагестана и смежных районов наблюдается скопление их эпицентров в районе Чиркейского водохранилища, в акватории Каспийского моря, в Южном Дагестане, в районе Самурского и Джуфудагского хребтов, по главному Кавказскому хребту, в восточной части Чеченской Республики, в северо-западном Азербайджане, в Закавказской зоне. В вышеперечисленных районах наблюдается повторяющаяся из года в год концентрация очагов слабых землетрясений.

В целом в 2018 г. по сравнению с предыдущими годами отмечается понижение активности в 1,24 раза. Преобладающее большинство очагов землетрясений Дагестана и смежных районов лежат в пределах 0-25 км.

Литература

1. Адиллов З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Магомедова Д.С., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагателова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2018 г. //Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН. Махачкала, 2019.
2. Ананьин И.В., Кулиев Ф.Т. Касумкентское землетрясение 20 апреля 1966 г. //Землетрясения в СССР в 1966 г. М.: Наука, 1970.С.44-55.
3. Асманов О.А., Даниялов М.Г., Магомедов Х.Д. Проявления Закатальского землетрясения 7 мая 2012 г. ($K_R = 14,4$) на территории Дагестана //Современные методы обработки и интерпретации сейсмологической школы. Материалы Седьмой Международной сейсмической школы. Обнинск, 2012. С.35-38.
4. Етирмишли Г.Д., Гаравелиев Э.С., Асманов О.А., Адиллов З.А. Двусторонний анализ сильных Загатальских землетрясений 2012 года //Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы. Обнинск, 2015 г. С.126-132.

Bibliography

1. Adilov Z.A., Asekova Z.O., Gamidova AM, Magomedova D.S, Musalaeva Z.A., Pavlichenko I.N., Sagatelova E.Yu., Shakhmardanova S.G. Catalog (original) of the earthquakes of Dagestan for 2018 //Funds of the Department of Physics and Technology FITS EGS RAS. Makhachkala, 2019.
2. Ananin I.V., Kuliev F.T. The Kasumkent earthquake of April 20, 1966 //Earthquakes in the USSR in 1966. Moscow: Nauka, 1970. P. 44-55.
3. Asmanov, OA, Daniyalov, MG, Magomedov, Kh.D. Manifestations of the Zakatala earthquake on May 7, 2012 ($K_R = 14.4$) in the territory of Dagestan //Modern methods of processing and interpretation of the seismological school. Materials of the Seventh International Seismic School. Obninsk, 2012. P. 35-38.
4. Etirmishli G.D., Garaveliyev E.S., Asmanov O.A., Adilov Z.A. Bilateral analysis of strong Zagatala earthquakes in 2012 //Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the XIII International Seismological School. Obninsk, 2015. P.126-132.

УДК 550.34.06.013

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-75-80

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ОБХОДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПЛОТИНЫ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС

¹Идармачев И.Ш., ²Марченко М.Н.

¹Институт геологии Дагестанского ФИЦ РАН

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Рассматривается механизм возможного влияния изменения сезонной минерализации воды в Чиркейском водохранилище на согласованность временных рядов кажущегося электрического сопротивления и уровня воды в Чиркейском водохранилище. Скважина в которой ведутся наблюдения за кажущимся сопротивлением расположена в зоне обходной фильтрации плотины. На основе анализа данных изменения сезонной минерализации воды в водохранилище сделан вывод о том, что она вызывает кратковременную аномалию величины кажущегося сопротивления пород в с августа по сентябрь месяцы, которая не согласуется с данными уровня воды в водохранилище.

Ключевые слова: кажущееся сопротивление, деформационные и фильтрационные процессы, минерализация воды, сезонные вариации.

THE INFLUENCE MINERALIZATION OF WATER IN THE RESERVOIR ON SEASONAL VARIATIONS OF THE RESISTIVITY OF MOUNTAIN BREEDS IN THE ZONE OF THE BYPASS FILTERING OF THE CHIRKEY DAM

¹Idarmachev I.S., ²Marchenko M.N.

¹Institute of geology by FRC RAS of Dagestan

²Lomonosov Moscow State University

The mechanism of the possible influence of changes in the seasonal salinity of water in the Chirkei reservoir on the consistency of the time series of apparent electrical resistance and the water level in the Chirkei reservoir is considered. The well in which observations are made of apparent resistance is located in the zone of the bypass filtration of the dam. Based on the analysis of data on changes in seasonal mineralization of water in the reservoir, it was concluded that it causes a short-term anomaly in the apparent resistivity of the rocks in the well from August to September, which is not consistent with the data on the water level in the reservoir.

Keywords: resistivity, deformation and filtration processes, mineralization of water, seasonal variations.

Введение

Интерес к вопросам техногенного воздействия человека на окружающую среду растет из года в год. Особую опасность представляет сооружения крупных водохранилищ с высотными плотинами, приводящие в отдельных случаях к повышению сейсмической активности района. Этому способствует наличие активных тектонических разломов, трещинных зон, передающих давление воды на глубину, где формируются очаги землетрясений, приводящие к техногенным авариям на плотинах. Например, плотина «Сент-Френсис» (США) рухнула в 1928 г. из-за трещины возникшей в теле плотины. Этому способствовала тектоническая активность в поле разлома над плотинной.

Разрушение плотины «Мальпоссе» (Франция) в декабре 1959 г. было вызвано ослаблением прочности плотины в результате взрывных работ. Позднее было установлено, что она была построена с нарушением технологии строительства. Список таких аварий можно продолжить: в Китае 1975 г., в Пакистане 2010 г.

Актуальность исследований техногенного влияния крупных водохранилищ на геологическую среду заключается еще и в том, что процесс заполнения водохранилища и сезонного изменения уровня воды на 30–40 м представляет собой природный эксперимент для изучения воздействия крупного водохранилища на земную кору.

Экспериментальные исследования в районах Саяно-Шушинской [4] и Чиркейской ГЭС [2] показали, что фактор сезонного изменения уровня воды в водохранилище на 30–40 м приводит к деформации скального массива в районе плотины. Для Саяно-Шушинской ГЭС заполнение водохранилища в летний период на 40 м приводит к воздыманию основания плотины, в среднем, на 5 мм, а сброс воды в зимнее время - ее опусканию.

На Чиркейской ГЭС результаты длительных наблюдений за кажущимся удельным электрическим сопротивлением горных пород в скважине показали, что уровень воды в водохранилище влияет на состояние трещин в массиве [2]. С увеличением напора воды в весенне-летний период возрастает порово-трещинный объем породы. Замещение дополнительного объема пор водой приводит к снижению удельного сопротивления пород. С уменьшением напора воды в осенне-зимний период наблюдается обратная картина – повышение удельного сопротивления породы. Коэффициент корреляции между изменениями уровня водохранилища и электрического сопротивления достигает 0,9. Однако совпадение сезонных вариаций уровня водохранилища и электрического сопротивления пород не совсем точное, наблюдается явное различие для периода с августа по сентябрь месяцы. Вместо ожидаемого уменьшения электрического сопротивления пород в скважине при максимальном уровне воды в водохранилище происходит скачок в сторону увеличения. Предполагается, что он связан с понижением минерализации воды в результате выпадения осадков и таяния снега на Главном Кавказском хребте, где берут начало реки Дагестана. Поэтому целью настоящей работы является исследование влияния изменения сезонного уровня Чиркейского водохранилища на кажущееся сопротивление горных пород в скважине.

Объект исследования

Исследуемый массив горных пород расположен на правом берегу плотины Чиркейской ГЭС, представляет собой скальный массив, состоящий из слоистых известняков верхнего мела залегающий горизонтально с прослойками глин. Мощность пачек известняков меняется в пределах от 0,5 до 1,5 м. Общая мощность известняков составляет 450 м. На обрывистых склонах массива в районе нижнего бьефа плотины видны крупные субвертикальные трещины тектонического происхождения. Фото исследуемого массива показано на рис. 1. Данный участок с размерами 600x400 м характеризуется повышенной фильтрацией воды из водохранилища в обход плотины, где 90% фильтрационного потока идет по правому берегу [3].



Рис. 1. Фото участка правого борта плотины Чиркейской ГЭС (место расположения скважин №1 и №2 отмечены звездочками)

Методика эксперимента

Из двух скважин №1 и №2 (рис. 1), пробуренных строителями ГЭС в прошлом для наблюдения за фильтрацией воды в массив в период заполнения водохранилища, была выбрана скважина №1, расположенная в центре. График уровня воды в скважине имеет синхронный ход с уровнем воды в водохранилище с некоторым отставанием по амплитуде.

Для измерения R_k применяется четырехэлектродная установка электрического зондирования с разносами питающих электродов 9 м, закрепленная в скважине на глубине 90 м (рис. 2). Важным условием эксперимента является то, что электроды расположены в скважине ниже минимального сезонного уровня воды на 30 м. Такой метод измерения обеспечивает подавление влияния метеофакторов, в том числе и осадков.

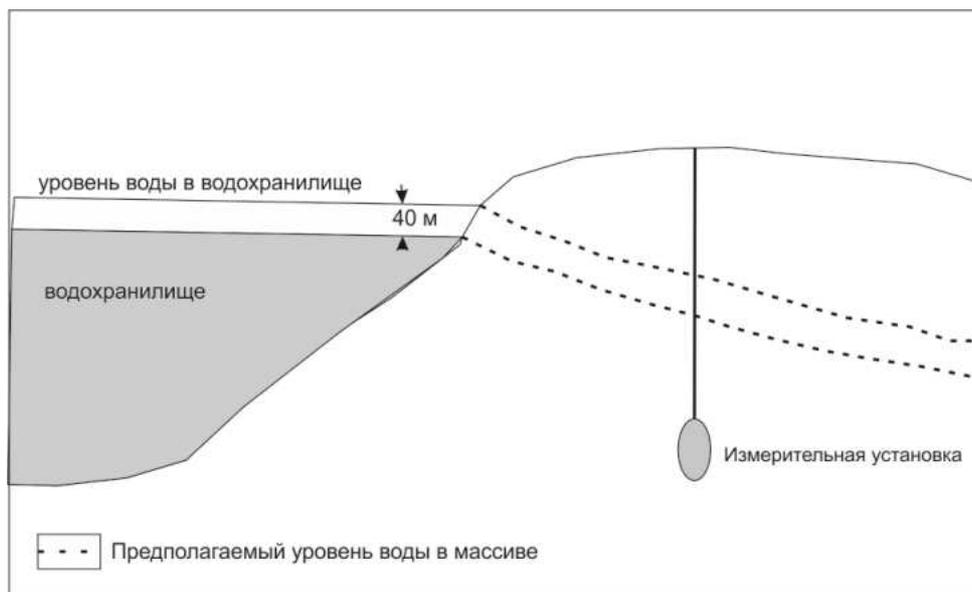


Рис. 2. Схематический разрез массива с указанием места расположения измерительного зонда установки в скважине

Объем зондируемых пород можно оценить исходя из расстояния между питающими электродами. Примерный объем пород равен 300 м^3 . Кажущееся удельное сопротивление данного объема пород составляет 99 Ом·м. Для измерений используется специальная установка, разработанная для высокоточных измерений R_k непрерывного действия. На питающие электроды через кабель подаются зондирующие импульсы тока, а с приемных электродов сигналы подаются на входные каналы измерительного устройства. Программа работы установки обеспечивается компьютером. Погрешность измерений R_k не превышает $\pm 0,1\%$.

Обсуждение результатов

Для анализа использовались ряды уровня воды в водохранилище (H) и кажущегося сопротивления пород (R_k). Графики этих рядов приведены на рис. 3. Максимальная корреляция равна $-0,94$ при сдвиге 12 суток, когда сопротивление отстает от уровня воды. Этот результат нуждается в комментариях.

Во-первых, факт запаздывания R_k на 12 суток говорит о том, что уровень воды в водохранилище не влияет на сопротивление напрямую (если бы это было так, то задержка бы отсутствовала).

Во-вторых, корреляция все-таки довольно высокая, а задержка не очень большая. Это означает, что полностью исключать влияние уровня воды на сопротивление нельзя.

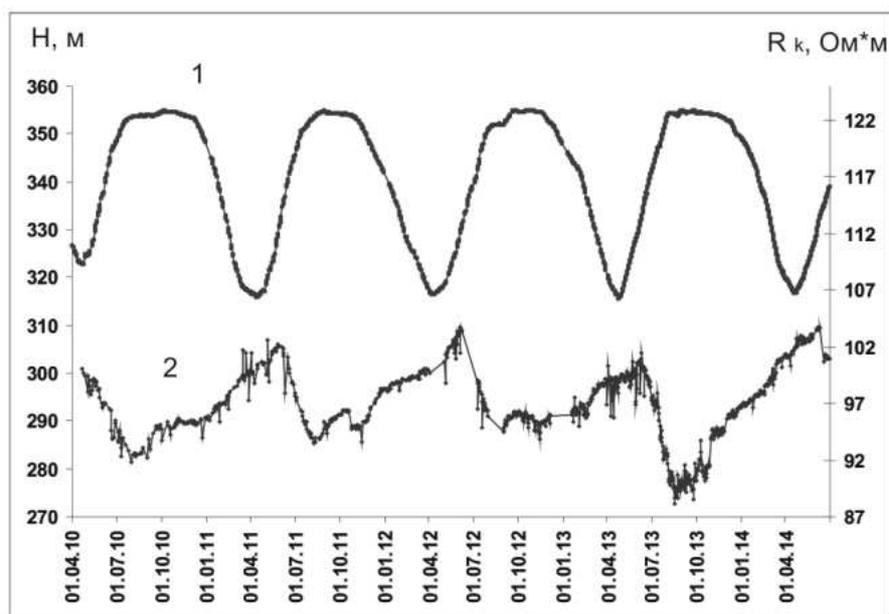


Рис. 3. Сезонные изменения уровня воды в водохранилище (H) и кажущегося сопротивления пород (R_k) за период с 2010 по 2014 гг.

Однако такое влияние может проявиться только опосредовано, через какой-то третий процесс, который развивается в течение нескольких суток с некоторой задержкой изменения R_k . В качестве такого «третьего процесса» может выступать деформационный процесс или фильтрационный. Фильтрация воды из водохранилища через породу может вызвать сезонное изменение минерализации и температуры воды в скважине. Эти параметры оказывают сильное влияние на удельное сопротивление воды, следовательно, и на кажущееся сопротивление породы. В работе [1] на основе анализа рядов данных температуры воды в скважине и кажущегося сопротивления показано, что амплитуда сезонных вариаций не превышают значения $0,02$ °C и $0,025$ Ом*м, соответственно, т.е. находятся на уровне погрешностей измерений. Поэтому параметр температуры воды в скважине не оказывает существенного влияния на кажущееся сопротивление породы. Однако любая модель, предполагающая физическую зависимость сопротивления от уровня водохранилища, должна объяснять резкий скачок сопротивления с августа по октябрь, после того, когда уровень воды достигает своего максимума. Ведь на графике сезонного хода уровня воды нет аналогичной резкой особенности. Эта особенность графиков R_k и H наиболее отчетливо видна на рис. 4.

Такое поведение кажущегося сопротивления может быть вызвано изменением минерализации воды водохранилища в связи поступлением паводковых вод в весенне-летний период.

По химическому составу вода в Чиркейском водохранилище относится к гидрокарбонатному классу с преобладанием иона HCO_3 , по степени минерализации – к категории пресной (368–601 мг/л). Большинство рек Дагестана имеет воду средней степени минерализации от 200 до 500 мг/л. Воды рек высокогорных районов, расположенных в непосредственной близости от областей питания (ледники, снежники) отличаются низкой минерализацией (120 мг/л). В Чиркейское водохранилище впадают реки, которые берут свое начало на Главном Кавказском хребте. Сезонные колебания степени минерализации вод противоположны колебаниям расходов рек – в теплый период с увеличением доли снегового питания минерализация уменьшается, а в холодные месяцы в связи с переходом на подземное питание – увеличивается [5]. Минимальные значения минерализации отмечаются в июне – июле, а максимальные – в декабре – январе.

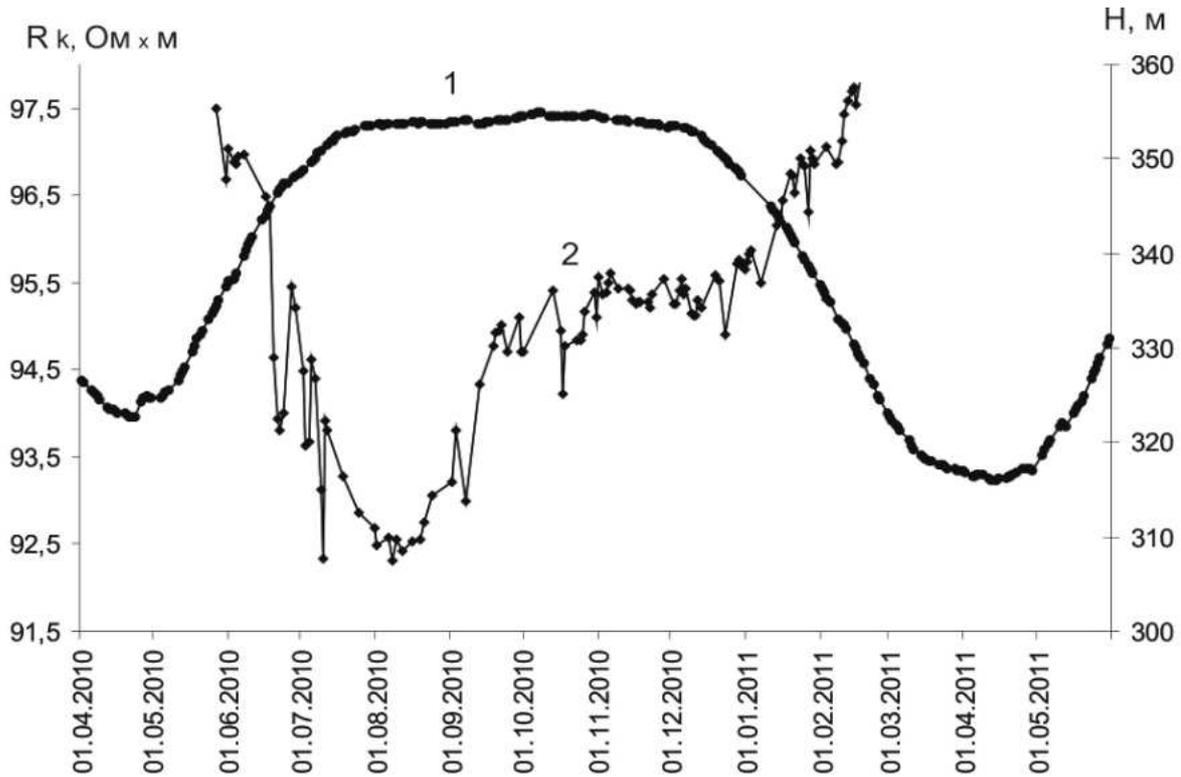


Рис. 4. Графики: 1 – уровня воды в водохранилище; 2 – кажущегося сопротивления породы

В Чиркейском водохранилище изменение удельного сопротивления воды должно происходить обратно пропорционально минерализации. Летнему периоду минерализации (370 мг/л) соответствует сопротивление воды равное 18 – 20 Ом·м, а зимнему периода минерализации 600 мг/л – 9–10 Ом·м. Из этих данных следует, что удельное сопротивление породы в летний период июнь-август должно увеличиваться в два раза, т.к. оно прямо пропорционально удельному сопротивлению воды [6].

Для оценки сезонного хода минерализации воды в Чиркейском водохранилище были взяты пробы воды в районе плотины ГЭС через каждые семь суток. Период наблюдений составил 7 месяцев. В конце наблюдений одновременно для всех проб были сделаны замеры удельного сопротивления воды, чтобы исключить влияние температуры. Погрешность измерений $R_{\text{воды}}$ не превышает 3%. Полученные данные приведены на рис. 5.

На графике (рис. 5) в зимний и весенний периоды удельное сопротивление воды в водохранилище медленно понижается, а затем с мая по июнь резко увеличивается на 17 Ом·м. Для данного периода вместо ожидаемого увеличения наблюдается резкое уменьшение кажущегося сопротивления породы на 6,5 Ом·м. Такое несоответствие графиков $R_{\text{воды}}$ и $R_{\text{к}}$ показывает, что минерализация воды в водохранилище не оказывает прямого действия на сопротивление породы. Однако на графике (рис. 4) сезонных вариаций $R_{\text{к}}$ для периода август-сентябрь наблюдается незначительное повышение на 3 Ом·м, что соответствует относительному увеличению сопротивления на 3,2%. Такое несоответствие между амплитудами изменения $R_{\text{к}}$ реального и ожидаемого 3,2% и 85,0%, соответственно, показывает, что минерализация воды в скважине сильно отличается от водохранилища.

Таким образом, изменение минерализации воды в Чиркейском водохранилище оказывает кратковременное влияние на $R_{\text{к}}$, нарушая его сезонный ход в течение периода август-сентябрь месяцы.

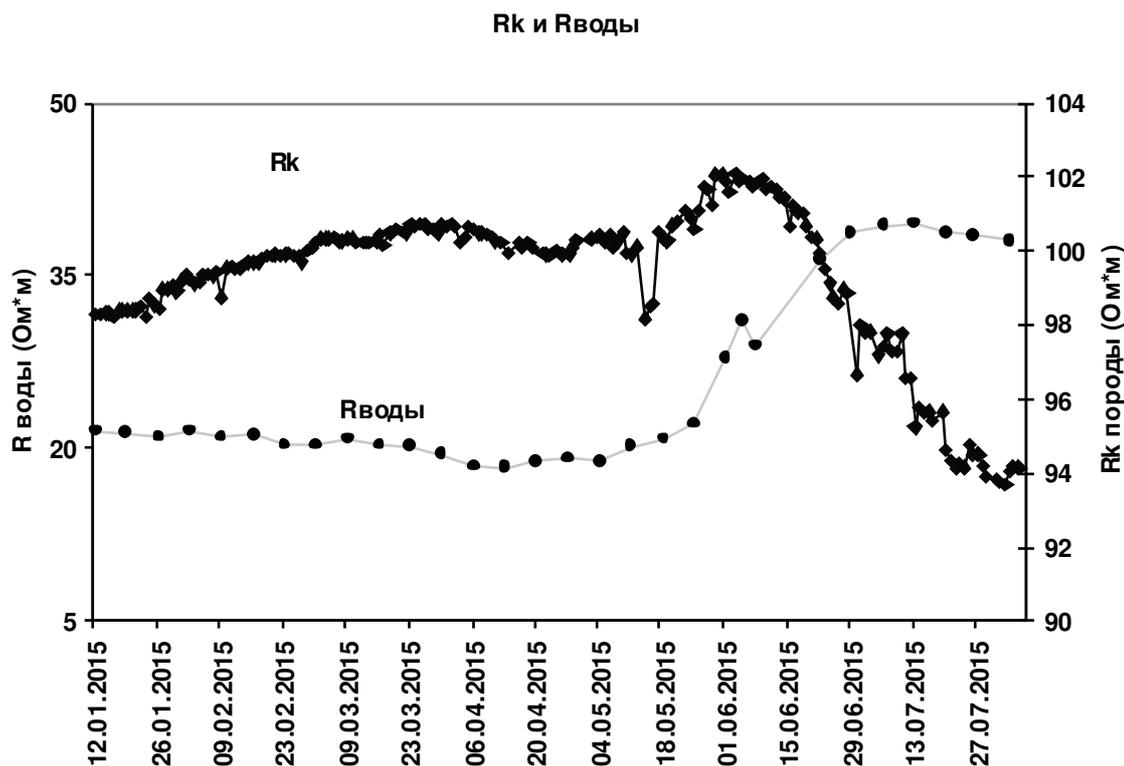


Рис. 5. Графики кажущегося сопротивления пород (R_k) в скважине и удельного сопротивления воды ($R_{\text{воды}}$) в Чиркейском водохранилище возле плотины ГЭС

Выводы:

1. По оценочным и экспериментальным данным удельное сопротивление воды в Чиркейском водохранилище за 365 суток изменяется на 85%. В летний период, в сезон дождей и таяния снега, сопротивление воды растет, а в зимний период уменьшается;
2. Амплитуды сезонных изменений удельного сопротивления воды в водохранилище и в скважине отличаются более чем на порядок. Резкое повышение удельного сопротивления воды в водохранилище май-июнь месяца оказывает кратковременное влияние на кажущееся сопротивление пород, нарушая его сезонный ход с августа по сентябрь месяцы.

Литература

1. Алиев М.М., Дешеревский А.В., Идармачев И.Ш. Исследование вариаций кажущегося электрического сопротивления горных пород с температурным режимом в скважине около плотины Чиркейской ГЭС. Инженерные изыскания. 2015. №14. С.6–2.
1. Идармачев И.Ш. Вариации кажущегося сопротивления массива горных пород верхнего мела в районе плотины Чиркейской ГЭС под воздействием переменной нагрузки водохранилища // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2014. № 52. С. 11–15.
2. Марчук А.Н., Марчук Н.А. Контроль и прогноз опасных геодинамических процессов с помощью измерительных систем плотин // Геология и ресурсы Кавказа. Махачкала. 2017. № 2 (69). С. 39–46.
3. Савич А.И., Газиев Э.Г. Влияние воды водохранилищ высоких плотин на поведение скальных массивов основания // Гидротехническое строительство. 2005. № 11. С. 33–37.
4. Шейхов Ю.Г., Ходжаян Г.П., Соколенко В.Н. Солевой поверхностный сток в Каспийское море в пределах Дагестана. - Газогеохимические особенности подземных вод Дагестана. Сб. тр. Дагестанского филиала АН СССР. Институт геологии. Махачкала. 1978. С. 51–55.
5. Archie G.E. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Trans. Am. Inst. Mining Met. Eng. 1942. 146. 54-62 1994. N 3. P. 572–580.

УДК 551.311.31 (470.67)

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-81-86

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭОЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДАГЕСТАНЕ

*Тулышева Е.В., Мацапулин В.У., Исаков С.И.
Институт геологии ДФИЦ РАН*

Исследования проведены по публикациям, посвященным эоловым процессам формирования Сарыкума и других образований территории Дагестана, разбору литологических процессов формирования среднемиоценовых песчаников. Показано, что не всегда адекватно применяется геоморфологическая терминология действительным процессам образования песчаников, эоловым формам песков.

Ключевые слова: пески, песчаники, геоморфологическая аномалия, карбонатные корочки, чокрак, караган, галтовка

GEOMORPHOLOGICAL TERMINOLOGY IN THE STUDY OF AEOL PROCESSES IN DAGESTAN

*Tulisheva E.V., Matsapulin V.U., Isakov S.I.
Institute of geology by FRC RAS of Dagestan*

Studies have been conducted on publications devoted to the aeolian processes of the formation of Sarykum and other formations of the territory of Dagestan, the analysis of the lithological processes of the formation of Middle Miocene sandstones. It is shown that geomorphological terminology is not always adequately applied to actual sandstone formation processes, aeolian forms of sands.

Keywords: sands, sandstones, geomorphic anomaly, carbonate crusts, chocrak, Karagan, tumbling.

В статьях посвященных эоловым процессам, формам рельефа повсеместно встречаются выражения – образования песков (2,3,4,6). Хотя мы заведомо знаем, что эти статьи посвящены образованию эоловых форм рельефа – дюнам, барханам, массивам, горам, буграм, комплексам и т.п. К примеру, приведем выдержку из статьи [2], в которой А.В. Гусаров обращается к авторам статьи [9]? Спрашивает, а как образовались пески Сарыкума. Хотя статья посвящена в основном геохимии карбонатных корочек и ее авторы не собирались отвечать на заданный вопрос – как образовались пески? Это не входило в задачи статьи, которые собирались решать авторы статьи [9]. Не секрет, что А.В. Гусарова интересовали геоморфологические формы эоловых песков Сарыкума. Но поставленный вопрос не определенный, так как термин пески имеет три значения [1].

1. Пески - собирательный термин для обозначения аккумулятивных эоловых форм рельефа, имеющих вид бугров, гряд, дюн, барханов и т.д. В зависимости от этого пески носят название – бугристых, грядовых, кучевых и т.д.

2. Пески (литологический) – скопление нелитифицированных обломков минералов любого состава (кварцевого, полевошпатового, кремнистого, карбонатного и др.) псаммитовой размерности (от 0,05 до 2 мм), а также неконсолидированные осадки отдельного сопутствующего состава. Среди песков по соотношению разных компонентов различают – глауконитовые, коралловые, оболочковые и др., по происхождению – элювиальные, делювиальные, аллювиальные, эоловые, морские, озерные, ледниковые; по образующим формам рельефа – бугристые, грядовые, барханные, баровые и др. В инженерной геологии, седиментологии и почвоведении термин употребляется часто в единственном числе – песок.

3. Пески (полезные ископаемые) – рыхлые и сцементированные отложения разного состава, а также трещиноватые или выветрелые породы, слагающие продуктивный пласт россыпи. Пески служат объектом добычи при разработке россыпных месторождений и последующе-

го извлечения полезных компонентов. Понятие пески аналогично понятию «руда» для коренных месторождений.

Для наших рассуждений пригодны два первых значения – геоморфологическое и литологическое.

В других случаях эти два термина сливаются в один. Например, на вопрос как образовался какой-либо магматический массив, достаточно сказать, что он образовался путем внедрения магматического расплава. При этом образовался и петрографический состав и морфология массива. В нашем случае процесс образования, допустим, того же Сарыкума разделяется на два этапа – образование песков и затем через определенное время образование эоловой формы рельефа. Эта двойственность в обсуждении вопросов образования эоловых форм приводит к заблуждениям различного рода. Рассмотрим более детально эти представления.

Образование песков – это образование отдельных песчинок в процессе осадконакопления толщ – аквальная абразия коренных пород (физико-химическое выветривание) коренных пород – песчаников, гранитов, гнейсов, известняков и др. В зависимости от пород образуются рыхлые пески того или иного состава – кварц, полевые шпаты, карбонаты, рудные минералы и т.д. Рыхлые пески в процессах литогенеза цементируются и образуют соответственно песчаники, обнажающиеся на современной поверхности земли. Где они подвергаются физико-химическому выветриванию с образованием рыхлых песков. Также выветриваются и коренные магматические, метаморфические и др. породы с образованием песков специфического состава.

Так среднемиоценовые пески Большого Кавказа представлены легкой фракцией (кварц, полевой шпат, глауконит) и тяжелой (до 4-5 %) – оксиды, сульфиды, прозрачные, непрозрачные и др. Песчаники (коренные породы) в этом случае являются промежуточными коллекторами, которые в процессе выветривания формируют рыхлые пески. Они могут образовываться и из первичных пород – граниты, гнейсы, известняки и др. Образование среднемиоценовых песчаников Большого Кавказа происходило более 20 млн. лет назад.

При обсуждении эоловых процессов формирования Сарыкума и других скоплений эоловых форм рельефа разговор сводится к разрушению песчаников среднего миоцена (чокрак, караган, сармат). На Большом Кавказе эти отложения прослеживаются на всей территории по простиранию. Но особенно чокрак-караганские песчаники выражены в средней части Передового хребта в Дагестане. Они характеризуются весьма слабой литификацией, настолько слабой, что они легко разрушаются в руках и только в некоторых местах они имеют силикатный цемент и становятся твердыми, трудно разрушаемыми. В.Д. Голубятников называл эти песчаники мягкими в отличие от нашего термина – слаболитифицированные. Эти песчаники выделяются среди осадочных толщ региона. В Дагестане к ним приурочены месторождения стекольных и строительных песков – Серное, Султановское, Карабудахкентское, Талгинское и др. Все они отрабатываются с помощью бульдозера и экскаватора, без применения буро-взрывных работ. Такая же характеристика и сарматских песков на Ставрополье, где в них разведаны промышленные россыпные месторождения титано-циркониевого сырья. Используя эти материалы, в Дагестане были также организованы исследования (2002-2014 гг.) чокрак-караганских песчаников на проявления россыпного титано-циркониевого сырья и благородных металлов. В результате этих работ было установлена непромышленная металлоносность титано-циркониевого сырья 0,5-1,0 % (циркон+титано-магнетит+рутил+лейкоксен) и единичные пробы шлихового золота до 4 г/т, отмечены очень мелкие знаки (> 0,1 мм) платины. Аналитикой установлено содержание платины 0,4 г/т в сарматских песках южнее г. Дербент.

Современные представления о формировании чокрак-караганских песчаников показаны на рисунке 1 по данным К.А. Сабанаева и др.



Рис. 1. Региональный геологический профиль по линии Первомайская площадь (Северный склон Кавказа) – Эджинская площадь (восточная часть края Карпинского)

Из рис. 1 видно, что образование песчаников началось с дальних источников (Воронежский массив). При формировании этой толщи пород отмечено существование десяти кор физико-химического выветривания. Геологи, разведывавшие Бешпагирское россыпное месторождение, считают, что источник сноса располагался на Урале. При проведении работ на титаноциркониевое сырье, мы обратили внимание, что Передовой прогиб Кавказа сложен на уровне нижней юры, триаса гранитоидами, гнейсами. Площадь их развития составляет более 100000 км². Этот огромный массив магматических пород мог быть более близким коренным источником материала для образования среднемиоценовых песчаников. Академик Н.А. Шило и д.г.-м.н. Н.Г. Патык-Кара, ведущие геологии России, занимавшиеся россыпями, считали песчаники среднего миоцена Большого Кавказа Большекавказским шельфом. По степени окатанности материала в песчаниках они полагали, что образование рыхлого материала для формирования песков происходило значительно раньше их диагенетического преобразования в коренные породы – песчаники. Таким образом, сформировались песчаники среднего миоцена за счет физико-химического выветривания магматических, осадочных пород, начиная с нижней юры, триаса и литификацией и диагнеза в среднем миоцене (> 20 млн. лет назад).

Рыхлые пески прибрежно-морских отложений стали формироваться, когда миоценовые песчаники были выведены на современную земную поверхность, т.е. в верхнем плиоцене-плейстоцене (2-3 млн. лет назад). Уже хотя бы по возрасту эти образования (юра-триас, плиоцен-плейстоцен) следует рассматривать отдельно.

Авторы статей говорят об образовании песков, а думают о формировании эоловых форм рельефа, в частности Сарыкума. Такое смешивание процессов приводит к заблуждению исследователей – геоморфологов.

Среди последних существуют представления о возможности переноса песков из пустынь Средней Азии через Каспийский перешеек (если он существовал) спрашивается, зачем привлекать подобную гипотезу применительно к огромным скоплениям и рыхлых песков и источников их формирования – миоценовых песчаников. У литологов, изучавших миоцен региона, подобных представлений даже не возникало, т.к. они были высказаны без учета геологического строения региона.

Изучение литологии миоценовых песчаников ведется с первой половины двадцатого столетия. Поэтому появление статьи [3], посвященной минералогии Сарыкума и чокракских песчаников в наши дни выглядит как-то неуместно, потому что автор в ней изучает только легкую фракцию и говорит о минералогии объектов исследования в целом, в которых, конечно же, содержится и тяжелая фракция. Он не приводит ни одной ссылки на многочисленные минералогические исследования миоцена. Отсюда делает неправильные выводы о том, что минералогия песков Сарыкума образовалась за счет разрушения гранитоидов по наличию в них только

кварца и полевых шпатов. И, вообще изучение минералогии автором основывается на неправильных предпосылках. Отбор проб по коренным и рыхлым отложениям проводится по методу квартования. Приводит описание этого метода, откуда оно взято неизвестно, потому что в Геологическом словаре [1] описание этого метода совершенно другое. Различные методы отбора проб применяется для усреднения содержания необходимых компонентов в геологическом теле. Здесь же этой необходимости отбирать пробы и в рыхлых песках и коренных песчаниках для усреднения содержания минералов нет, т.к. лучше самой природы перемешивания песков, длившееся сотни и миллионы лет не произвести. Да и не нужно этого делать.

Мы отмечали некоторые недостатки геоморфологических работ авторов [2,3,4,5]. Здесь же разъяснения некоторых других заблуждений, которые уведут нас от правильных научных выводов о формировании дюны Сарыкум.

При изучении дюны Сарыкум, мы постоянно ощущали, что это эксклюзивное образование. Её недаром считают крупнейшим по высоте эоловым образованием Евразии. Она образована эксклюзивными процессами. К настоящему времени по имеющимся материалам мы приходим к выводу о том, что это эоловое образование, во время формирования которого участвовали эндогенные (вулканогенные) процессы – функционирование гейзеров.

В своих статьях И.А. Идрисов считает, что здесь каких-либо эксклюзивных процессов не было. А Сарыкум сформировался при общем изменении климато-геоморфологических условий. А.В. Гусаров считает, что Сарыкум чисто эоловое образование сформировавшееся при прорыве р. Шура-Озень хребта Нарат-Тюбе и эолового комплекса Сарыкум, за счет чего формировались эксклюзивные геологические процессы приведшие к образованию современного облика Сарыкум.

В словаре [8] мы нашли определение термина Аномалии геоморфологической, под которой понимается: «Морфологические, генетические или возрастные особенности рельефа и рельефообразующих процессов локального участка отличающие его от окружающего рельефа, играющего роль фона». По происхождению различают аномалии геоморфологические – эндогенные (тектонические уступы, грязевые вулканы и др.) экзогенные (отдельные моренные гряды, камы), смешанные (измененные в морфологии долины, размытые своды развивающихся структур и т.д.). к последним относятся большинство аномалии «геоморфологических». Под это определение полностью подходит Сарыкум.

Все три группы исследователей Сарыкума (А.В. Гусаров, И.А. Идрисов, В.У. Мацапулин) дали ему генетическое толкование. В соответствии с ним проводят исследования и подборку материалов. Это в просторечии соответствует выражению из мультика «как яхту назовешь, так она и поплывет». Какое название было дано Сарыкуму так и проводятся исследования. В большинстве случаев так исследования и проводятся, определяется название, задается направление, по которому ведутся исследовательские работы. Но при этом нужно учитывать все отмечающиеся факты.

С началом современного этапа изучения Сарыкума, считалось, что причиной его образования (затравки) могло быть наличие растительности, кустарников, деревьев и др., развалы коренных пород песчаников, как например, песчаник на приморской низменности у селения Уйташ [7]. Несколько позже появились представления о возможном участии (в виде затравки) продуктов вулканогенных процессов [5]. По происшествии определенного времени, когда Сарыкум восточный почти весь отработан, на западном Сарыкуме пройден браконьерский карьер, который вскрыл песчаный бугор. Об этом карьере можно сказать, что он пройден без определенной геологической цели и место его заложения определялось, видимо, экономическим соображением. Нигде во вскрытых участках Сарыкума каких-либо образований (кроме карбонатных корочек) не установлено. Карбонатные корочки отмечены на восточном и западном Сарыкуме. В первом их гораздо больше. Кроме того, в эоловых песках установлены россыпи гальки на западном Сарыкуме, в карьере установлены конгломераты – в которых слабоокатан-

ная галька цементируется слабым карбонатным цементом (по сравнению с карбонатными корочками). Россыпи гальки и гравелитов с цементом видимо, не связаны. Наличие гальки на поверхности эолового тела Сарыкума для И.А. Идрисова, А.В. Гусарова послужило основанием, утверждать, что это галька реки Шура-Озень, которая прорвала хребет Нарат-Тюбе и прислоненную к нему дюну западного Сарыкума. Высказывались соображения, что эта галька в процессе образования Сарыкума поднималась с террас речки на верх песчаного тела. Эти соображения для отмеченных исследователей являются эксклюзивными, объясняющими происхождение Сарыкума как эксклюзивного образования. Они настолько уверены в этом, что даже не обсуждают наличие карбонатных корочек в Сарыкуме, считая их малозначимым фактом. Даже ставят себе в заслугу, что не касаются в своем исследовании карбонатных корочек. Такое отношение к фактическому материалу недопустимо, потому что карбонатные корочки довольно масштабное образование. Мощность этих пластов достигает 1,5-2,0 м, что на восточном Сарыкуме составляли порядка 4-5 % его мощности. Исключать их из обсуждения это не научный подход.

Корочки – это признак наличия, функционирования вулканогенных процессов-гейзеров и др. Мы приводим обоснование этого во многих статьях, тезисах, поэтому не останавливаемся здесь (рис. 2).

Наличие гальки и конгломератов в эоловых песках, тоже не имеет однозначного толкования. В русле, пойме р. Шура-Озень галька карбонатов преобладает. В крупнообломочном материале эоловых песков галька известняков не установлена; она представлена песчаниками. Отмечаемая галька это не совсем акавальная форма обломочного материала. Кроме сказанного выше ее образование никак нельзя связать с деятельностью реки Шура-Озень или еще какой-либо речкой. Потому что р. Шура-Озень при выходе из зоны хр. Нарат-Тюбе поворачивает на право, а западный Сарыкум остается левее, куда русло реки никак не могло попасть. Если близкорасположенные к руслу речки россыпи гальки, гравия еще с натяжкой можно считать аллювиальным образованием, то конгломераты, вскрытые в карьере западного Сарыкума, никак нельзя притянуть к руслу р. Шура-Озень, исходя из их географического положения. Признаком других речных долин на участке Сарыкума не отмечены.



Рис. 2. Проявления гидротермально-эксплозивных образований в центральной части Дагестана и Сарыкум. Космоснимок

Условные обозначения: а) ▲ б) ■ в) ● г) ☉: а – гидротермально-эксплозивные, б – вулканокластические, в – вулканогенно-осадочные образования, г – дюны Сарыкума

В таком случае, что же представляет собой россыпи гальки, конгломераты на западном Сарыкуме? Это ничто иное, как обломочный материал слабосцементированных пород (песчаники и др.), подвергшийся галтовке при гидротермально-эксплозивных процессах. Это объясняет все противоречия – петрографический состав гальки, географическое их положение, связь с карбонатными корочками.

Таким образом, мы видим, что к вопросам терминологии при геоморфологических исследованиях нужно подходить осторожнее, чтобы не впасть в заблуждение.

Литература

1. Геологический словарь. Т.1. Спб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2010. 432 с.
2. Гусаров А.В. Гипотезы происхождения песков эолово-аккумулятивного комплекса «Сарыкум» как уникального природного объекта России. Труды государственного природного заповедника «Дагестанский». Вып. 9. Аlerh, Махачкала. 2014. С. 6-28.
3. Гусаров А.В. Гранулометрический и минеральный состав эолово-аккумулятивного комплекса «Сарыкум». Труды государственного природного заповедника «Дагестанский». Вып.9. Махачкала. 2014. С.28-40.
4. Гусаров А.В. Эолово-аккумулятивный комплекс «Сарыкум» как уникальный геоморфологический объект России: история изучения, гипотезы происхождения. Геоморфология, №2, 2015. С.54-71.
5. Иванчук П.П. Гидровулканизм // Природа. №7. 1967. С.17-24.
6. Идрисов И.А. О структуре рельефа юго-запада Приморской низменности. // «Аридные экосистемы». 2013. Т. 19. №1 (4). М., 2014. С. 28-40.
7. Исаков С.И., Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., Юсупов А.Р. Проявления вулканических пеплов в долине речки Истисув в аридной зоне Дагестана (Восточный Кавказ). // «Аридные экосистемы». М., Т. 19, № 3, М., 2013. С. 99-106.
8. Кривцов А.И. (гл. редактор) Российский металлогенический словарь. Санкт-Петербург. Изд-во ВСЕГЕИ. 2013. 319 с.
9. Мацапулин В.У., Тулышева Е.В., Хлопкова М.В. О геологических условиях формирования песчаной горы Сары-Кум и геохимических особенностях ее карбонатных отложений. // «Аридные экосистемы». М.: Т. 19. № 1 (54). 2013. С. 99-106.
10. Тулышева (Мацапулина) Е.В. К дискуссии о природе орогидрографического парадокса осевой зоны Восточного Кавказа. - Геоморфология, № 4. 1996. С. 19-24.

УДК 552.02

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-87-93

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ДАГЕСТАНСКОГО СЕКТОРА АКВАТОРИИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ с 2009 г. по 2018 г.

Сагателова Е.Ю., Павличенко И.Н., Гамидова А.М., Мусалаева З.А.
Единая геофизическая служба РАН

В статье рассмотрены вопросы сейсмического режима Дагестанского сектора акватории Среднего Каспия. Составлена карта эпицентров землетрясений указанной территории. Проведен анализ глубинного распределения морских толчков, а также дано распределение числа землетрясений по энергетическим классам.

Ключевые слова: сейсмический режим, основные параметры землетрясений, очаг землетрясений, энергетический класс, магнитуда.

SEISMIC REGIME OF THE DAGESTAN SECTOR OF THE WATER AREA OF THE MIDDLE CASPIAN FROM 2009 TO 2018

Sagatelova E.U., Pavlichenko I.N., Gamidova A.M., Musalaeva Z.A.
Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences

The article deals with the seismic regime of the Dagestan sector of the Middle Caspian. A map of the epicenters of earthquakes of the specified territory. The analysis of the deep distribution of sea shocks was carried out, and also the distribution of the number of earthquakes by energy classes was given.

Keywords: seismic mode, the main parameters of earthquakes, earthquake source, energy class, magnitude.

Объектом исследования в нашей работе следует считать сейсмический режим Дагестанского сектора акватории Каспийского моря в период с 2009 по 2018 гг.

Вся территория Дагестана, включая Дагестанский сектор акватории Среднего Каспия, характеризуется сравнительно высоким уровнем сейсмичности. Обычно возникновение землетрясений связывают с существующими разломами.

Главными структурными элементами Каспийского моря являются разломы различной ориентации. Главный Дербентский разлом прослеживается между Махачкалой и Дербентом, определяя береговую линию Каспийского моря [4].

Разломы широтного простирания широко развиты в Каспийском море в зонах Мангыш-лакского и Апшеронского порогов. К разломам меридионального простирания относятся Аграханский и Восточно-Каспийский разломы [4].

Выявление потенциальных сейсмических очагов и долгосрочный прогноз их очередной активизации имеют первостепенное значение для адекватной оценки сейсмической опасности и сейсмического риска в нашем густонаселенном регионе.

В своей работе мы проанализировали сейсмические события за период с 2009 г. по 2018 г. включительно, составили карту эпицентров землетрясений и дали анализ глубинного распределения морских толчков.

Для исследования сейсмичности Дагестанского сектора акватории Среднего Каспия нами был использован региональный каталог Дагестанского филиала Геофизической службы РАН. Для анализа была выбрана территория с координатами $\varphi=41.5^{\circ}-44.3^{\circ}$ с.ш., $\lambda=47.5^{\circ}-49.0^{\circ}$ в.д. площадью $S=23$ тыс. 156 км².

Обработка зарегистрированных толчков с последующим определением основных параметров очагов проводилась сотрудниками отдела ОСИиАД Дагестанского филиала ГС РАН. Все очаги за период с 2012 по 2018 гг. вошли в каталоги, которые ежеквартально и ежегодно публикуются в журнале «Мониторинг. Наука и технологии».

За вышеуказанный период сетью наших сейсмических станций было зафиксировано и обработано 839 морских толчков. Распределение землетрясений по энергетическим классам и суммарная энергия представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Таблица распределения числа землетрясений на территории Дагестанского сектора акватории Среднего Каспия по энергетическим классам K_p и суммарная энергия ΣE_c за 2009-2018 гг.

Годы	Всего	7	8	9	10	11	12	ΣE_c
2009	23	2	8	7	2	4	0	$4,278 \cdot 10^{11}$ Дж
2010	27	3	17	5	2	0	0	$2,673 \cdot 10^{10}$ Дж
2011	49	11	21	13	3	1	0	$1,452 \cdot 10^{11}$ Дж
2012	55	24	23	6	2	0	0	$2,854 \cdot 10^{10}$ Дж
2013	82	33	35	10	3	1	0	$1,438 \cdot 10^{12}$ Дж
2014	86	44	31	7	3	0	1	$1,040 \cdot 10^{12}$ Дж
2015	101	47	41	9	3	1	0	$1,435 \cdot 10^{11}$ Дж
2016	117	67	39	11	0	0	0	$1,557 \cdot 10^{10}$ Дж
2017	182	106	53	14	8	1	0	$2,003 \cdot 10^{11}$ Дж
2018	117	75	32	8	2	0	0	$3,195 \cdot 10^{10}$ Дж
Итого	839	412	300	90	28	8	1	$2,204 \cdot 10^{12}$ Дж

Из таблицы 1 видно, что основное количество сейсмических толчков было зарегистрировано в пределах энергетических классов $K_p = 7 \div 10$. При этом основную долю в суммарную величину сейсмической энергии внесли землетрясения высоких энергетических классов: $K_p = 10 \div 12$. В целом суммарная сейсмическая энергия за период с 2009 по 2018 гг. составила $2,204 \cdot 10^{12}$ Дж.

С 2009 г. сейсмические станции «Ботлих», «Гуниб» и «Ахты» перестали быть аналоговыми и перешли на цифровой вид записи. А в 2015 г. был осуществлен полный переход всех сейсмических станций Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН на цифровую регистрацию. Таким образом, на сегодняшний день контроль над очагами землетрясений в Дагестанском секторе акватории Каспийского моря, на территории Дагестанского клина и на территории приграничных с Дагестаном республик (Грузия, Азербайджан и Чеченская республика) осуществляется 16-ю цифровыми сейсмическими станциями. Такой контроль позволяет обеспечивать фиксацию землетрясений на уровне энергетического класса $K_p = 7$ на всей территории Дагестана, включая и Дагестанский сектор акватории Среднего Каспия. Т.е. представительным классом для исследуемой территории является $K_p = 7$.

В период с 2009 г. по 2018 г. в пределах исследуемых координат в Дагестанском секторе акватории Каспийского моря нашими сейсмостанциями были зафиксированы в общей сложности двадцать восемь толчков $K_p = 10$, восемь толчков $K_p = 11$ и один толчок $K_p = 12$. Некоторые из них мы привели в таблице 2.

Таблица 2.

Дагестанский сектор акватории Среднего Каспия $K_p = 10-12$.

N_0	Дата.	t_0 (ч.м.с.)	φ^0 (N)	λ^0 (E)	h, км	K_p
1	06.02.2009	07-51-29,91	42,41	48,27	2,9	10,8
2	20.07.2009	22-35-09,62	43,15	47,72	49,4	11,1
3	04.11.2009	21-10-11,07	42,21	48,39	46,1	10,7
4	16.11.2009	08-28-04,84	41,78	48,73	37,7	11,1
5	24.08.2011	10-05-00,85	43,08	48,39	14,0	10,9
6	17.12.2013	05-27-38,84	42,26	48,15	17,0	10,6

7	15.03.2014	00-58-24,41	41,78	48,95	17,0	11,6
8	16.06.2015	13-50-36,99	43,12	47,86	15,0	10,5
9	11.10.2017	00-12-24,02	42,41	48,95	23,0	11,1
10	28.08.2018	15-30-55,89	42,61	48,40	15,0	10,3
11	17.11.2018	18-24-03,30	42,67	48,35	15,0	10,3

Возникновение землетрясений $K_H=10-12$ в Дагестанском секторе акватории Среднего Каспия указывает на возросшую в данной зоне сейсмоактивность.

График повторяемости был построен для диапазона землетрясений $K_p = 7-12$ и показан на рисунке 1. При этом угловой коэффициент $\gamma=0.522$. Параметр γ , как правило, характеризует частоту повторения землетрясений определенных энергетических классов по площади и по времени. Исходные данные для построения графика повторяемости были взяты из каталога за 2009-2018 гг.

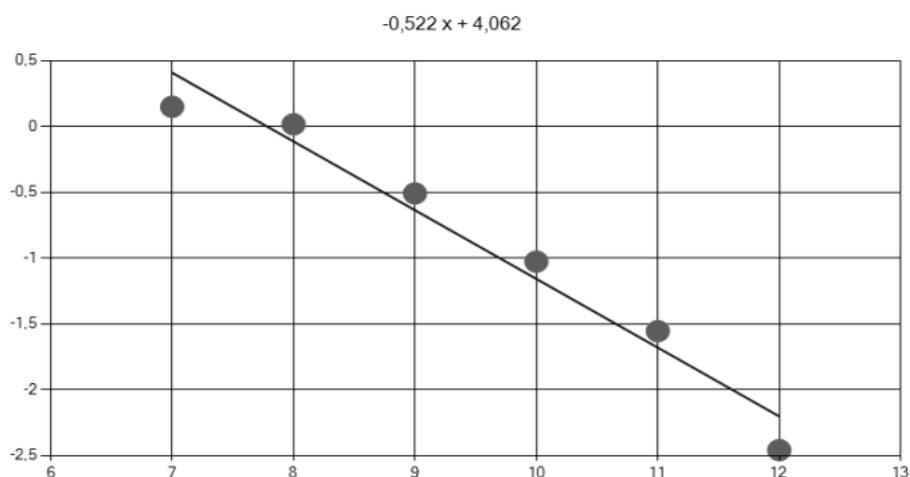


Рис. 1. График повторяемости.

Распределение землетрясений по глубинам мы представили в таблице 3.

Таблица 3.

Распределение количества землетрясений по интервалам глубин за 2009-2018 гг.

Годы	Всего	0-5, км	5-10, км	10-15, км	15-20, км	20-25, км	25-30, км	30-35, км	35-40, км	40-45, км	45-50, км	< 50, км
2009	23	1	1	0	4	2	1	3	2	5	4	0
2010	27	3	2	12	9	1	0	0	0	0	0	0
2011	49	3	5	18	14	9	0	0	0	0	0	0
2012	55	1	1	28	21	3	1	0	0	0	0	0
2013	82	2	11	28	31	7	3	0	0	0	0	0
2014	86	2	17	31	26	9	0	1	0	0	0	0
2015	101	3	4	56	32	6	0	0	0	0	0	0
2016	117	2	2	31	64	16	2	0	0	0	0	0
2017	182	1	1	55	102	21	2	0	0	0	0	0
2018	117	2	17	28	31	24	7	1	0	1	0	6
Итого	839	20	61	287	334	98	16	5	2	6	4	6

Глубина эпицентров землетрясений за весь обозначенный период времени колеблется в основном в пределах 5-30 километров, т.е. все очаги землетрясений являются коровыми. И только несколько из них имеют большую глубину:

- 1) 2 очага с глубиной до 40 километров;
- 2) 6 очагов с глубиной от 40 км до 45 километров;
- 3) 4 очага с глубиной от 45 км до 50 километров;
- 4) 1 очаг с глубиной $h=54$ км, который был зарегистрирован и обработан 2 ноября 2018 года, с $t_0=14-59-01,31$, $\varphi=42,038^\circ$ с.ш. и $\lambda=48,839^\circ$ в.д.;
- 5) 2 очага с глубиной $h=60$ км (9 сентября 2018 года, с $t_0=07-09-50,32$, $\varphi=42,907^\circ$ с.ш. и $\lambda=48,104^\circ$ в.д. и 2 октября 2018 года, с $t_0=09-04-56,62$, $\varphi=42,606^\circ$ с.ш. и $\lambda=48,196^\circ$ в.д.);
- 6) 1 очаг с глубиной $h=69$ км, который был зарегистрирован и обработан 21 июля 2018 года, с $t_0=12-47-14,17$, $\varphi=42,056^\circ$ с.ш. и $\lambda=48,758^\circ$ в.д., $K_p=8,39$.

Распределение всех морских толчков за период 2009-2018 гг. мы разместили на карте эпицентров, представленных на рис.1.

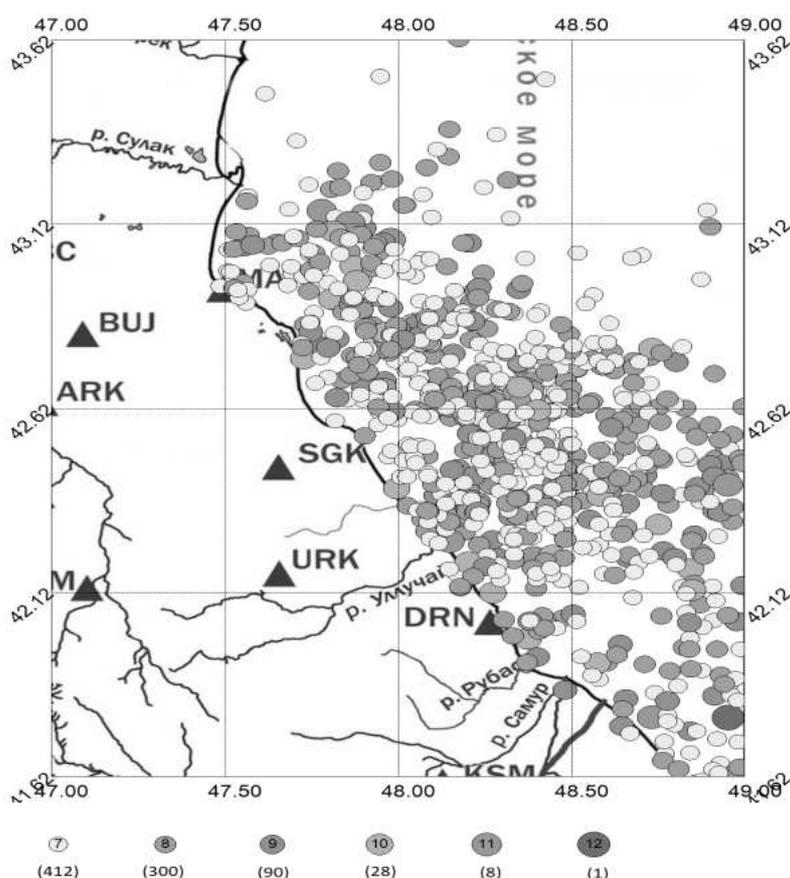


Рис. 1. Карта эпицентров морских землетрясений.

Карта распределения морских толчков дает нам представление о том, что в Дагестанском секторе акватории Среднего Каспия и по береговой зоне были зафиксированы все толчки $K_p=7-12$. Такая концентрация средних и ощутимых землетрясений говорит о заметной активизации сейсмичности.

Если сравнить сейсмоактивность, которая отмечалась в предыдущие годы, то можно заметить, что, например, в 1961 и в 1970 гг. в акватории Среднего Каспия инструментально были зафиксированы толчки с высокой магнитудой ($M=6,6$) [2]. В период с 957 года до 2006 года из 587 морских землетрясений 60 толчков имели класс $K_p \geq 11$ [4].

Далее мы построили 2 вертикальных разреза, совмещенных между собой на одной карте. Для построения вертикального разреза на карте эпицентров были использованы толчки $K_p = 7-11$ на рис.2.

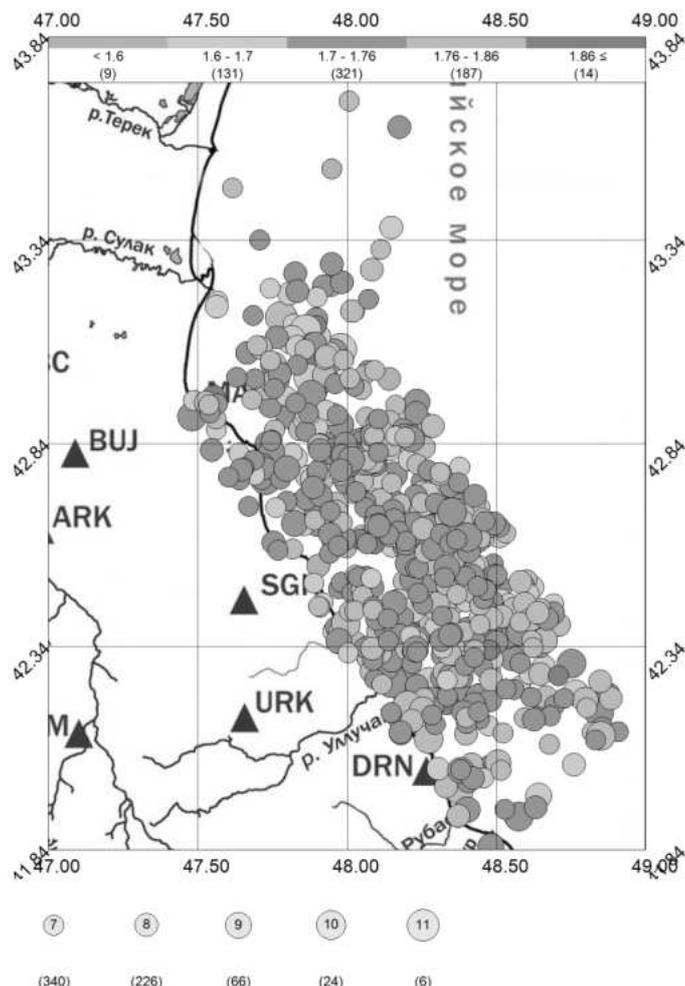


Рис. 3. Вертикальные разрезы очагов землетрясений $K_p = 7-11$ за 2009-2018 гг.

Для нижнего и верхнего разрезов дополнительно к карте разместили еще и табличные варианты распределения очагов землетрясений по классам за 10-летний период времени (2009-2018 гг.) с указанием суммарной сейсмической энергии (табл. 4, 5, 6 и 7).

Таблица 4.

Распределение количества землетрясений (для нижнего вертикального разреза) по классам с указанием суммарной энергии за 2009-2018 гг.

Годы	Всего	7	8	9	10	11	12	ΣE_c
2009	21	2	9	5	2	3	0	$3,259 \cdot 10^{11}$ Дж
2010	19	3	12	3	1	0	0	$1,423 \cdot 10^{10}$ Дж
2011	33	10	12	8	2	1	0	$1,293 \cdot 10^{11}$ Дж
2012	43	18	17	5	3	0	0	$3,688 \cdot 10^{10}$ Дж
2013	50	20	21	6	2	1	0	$1,283 \cdot 10^{11}$ Дж
2014	56	26	21	6	3	0	0	$3,836 \cdot 10^{10}$ Дж
2015	80	40	30	7	2	1	0	$1,304 \cdot 10^{11}$ Дж
2016	101	57	35	9	0	0	0	$1,307 \cdot 10^{10}$ Дж
2017	161	95	47	12	7	1	0	$8,765 \cdot 10^{10}$ Дж
2018	98	69	22	5	2	0	0	$2,789 \cdot 10^{10}$ Дж
Итого	662	340	226	66	24	6	0	$9,320 \cdot 10^{11}$ Дж

Координаты нижнего разреза:

1) $\varphi=42,00^\circ$ с.ш. и $\lambda=48,70^\circ$ в.д.;

2) $\varphi=43,10^\circ$ с.ш. и $\lambda=47,70^\circ$ в.д.

Распределение землетрясений по глубинам для нижнего вертикального разреза мы представили в таблице 5.

Таблица 5.

Распределение количества землетрясений по интервалам глубин за 2009-2018 годы для нижнего вертикального разреза.

Годы	Всего	0-5, км	5-10, км	10-15, км	15-20, км	20-25, км	25-30, км	30-35, км	35-40, км	40-45, км	45-50, км	< 50, км
2009	21	1	2	0	3	2	2	3	1	4	3	0
2010	19	2	1	11	4	1	0	0	0	0	0	0
2011	33	3	4	13	8	5	0	0	0	0	0	0
2012	43	1	1	26	12	2	1	0	0	0	0	0
2013	50	2	10	23	11	4	0	0	0	0	0	0
2014	56	0	15	25	16	0	0	1	0	0	0	0
2015	80	1	4	47	26	2	0	0	0	0	0	0
2016	101	2	4	33	53	9	0	0	0	0	0	0
2017	161	1	0	57	91	11	1	0	0	0	0	0
2018	98	1	17	29	29	13	5	0	0	0	0	4
Итого	662	14	58	264	253	49	9	3	1	4	3	4

Таблица 6.

Распределение количества землетрясений (для верхнего вертикального разреза) по классам с указанием суммарной энергии за 2009-2018 гг.

Годы	Всего	7	8	9	10	11	12	ΣE_c
2009	3	1	1	0	0	1	0	$1,001 \cdot 10^{11}$ Дж
2010	3	1	2	0	0	0	0	$2,100 \cdot 10^9$ Дж
2011	7	1	4	1	0	1	0	$1,014 \cdot 10^{11}$ Дж
2012	3	0	2	1	0	0	0	$1,200 \cdot 10^9$ Дж
2013	2	1	1	0	0	0	0	$1,100 \cdot 10^8$ Дж
2014	2	2	0	0	0	0	0	$2,000 \cdot 10^7$ Дж
2015	8	2	4	0	1	1	0	$1,104 \cdot 10^{11}$ Дж
2016	7	4	3	0	0	0	0	$3,400 \cdot 10^8$ Дж
2017	2	1	1	0	0	0	0	$1,100 \cdot 10^9$ Дж
2018	5	5	0	0	0	0	0	$5,000 \cdot 10^7$ Дж
Итого	42	18	18	2	1	3	0	$3,139 \cdot 10^{11}$ Дж

Координаты верхнего разреза:

1) $\varphi=43,10^\circ$ с.ш. и $\lambda=47,70^\circ$ в.д.;

2) $\varphi=44,30^\circ$ с.ш. и $\lambda=48,20^\circ$ в.д.

Распределение землетрясений по глубинам для верхнего вертикального разреза мы представили в таблице 7.

Вертикальные разрезы на карте эпицентров землетрясений дают нам представление о том, что линия эпицентров землетрясений вытянута вдоль всего побережья Каспийского моря в пределах наших обозначенных координат. Интервалы глубин эпицентров колеблются от 5 км

до 50 км. Четыре очага имеют глубину выше 50 километров (на карте нижневертикального разреза). И на карте верхнего вертикального разреза интервалы глубин обозначены в пределах 5-45 километров.

Таблица 7.

**Распределение количества землетрясений по интервалам глубин за 2009-2018
годы для верхнего вертикального разреза.**

Годы	Всего	0-5, км	5-10, км	10-15, км	15-20, км	20-25, км	25-30, км	30-35, км	35-40, км	40-45, км	45-50, км	< 50, км
2009	3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
2010	3	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2011	7	0	1	4	1	1	0	0	0	0	0	0
2012	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2013	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2014	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
2015	8	1	0	4	2	1	0	0	0	0	0	0
2016	7	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0
2017	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
2018	5	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0
Итого	42	2	4	13	11	9	0	1	0	1	1	0

Заключение

Основной целью сейсмического мониторинга не только в Дагестанском секторе акватории Среднего Каспия, но и на всей территории Дагестана было и остается получение подробной информации обо всех происходящих сейсмических событиях. Заметное оживление сейсмоактивности в обозначенной зоне может указывать на возможную подготовку более сильного землетрясения. Возникновение землетрясений $K_p = 10-12$ в Дагестанском секторе акватории Среднего Каспия указывает на возросшую в данной зоне сейсмоактивность.

Литература

1. Асманов О.А., Амиров С.Р., Абдулаева А.Р., Гамидова А.М., Даниялов М.Г., Левкович Р.А., Мирзалиев М.М., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана. Макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период с VII в.н.э. до 2005 года.
2. Даниялов М.Г., Амиров С.Р., Асманов О.А., Левкович Р.А., Мирзалиев М.М. Текущая сейсмоактивность зон ВОЗ территории Дагестана и акватории Среднего Каспия. //Сейсмический мониторинг и изучение геодинамики территории Дагестана и акватории Среднего Каспия. Махачкала, 2007. С.9.
3. Даниялов М.Г., Амиров С.Р., Абдулаева А.Р., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю.; Асекова З.О., Магомедова Д.С., Павличенко И.Н., Шахмарданова С.Г. Каталог землетрясений Северо-Восточного Кавказа (территория Дагестана и приграничные зоны) и акватории Среднего Каспия //Мониторинг. Наука и технологии. Ежеквартальные выпуски за 2012-2018 гг.
4. Смирнова М.Н. Глубинное строение и геодинамика кольцевой структуры Среднего Каспия //Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. Москва, 2009. С. 346-349.

УДК 691.332

DOI: 10.33580/2541-9684-2019-63-3-94-98

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГИПС

*Чагучиев М.Ч., профессор, д.т.н., д.э.н.**Институт геологии ДФИЦ РАН*

В первую очередь темпы строительства любого промышленно-развитого государства определяются объемами потребления цемента, и по праву цемент называют основной строительством. Однако при всех достоинствах материалы на основе цемента обладают рядом недостатков, таких как:

- высокая энергоемкость производства;
- низкая паропроницаемость;
- высокая теплопроводность;
- длительные сроки набора распалубочной прочности в составе легких (ячеистых) бетонов и т.д.

Вместе с этим общее состояние производства портландцемента в России находится на предкритическом рубеже, основные предприятия отрасли нуждаются в срочной реконструкции 80% производимого цемента выпускается с энергетическими затратами превышающими среднеевропейский уровень до 2 раз.

Поиск эффективных материалов, позволяющих проводить строительные работы с использованием передовых технологий и современного оборудования, привел к созданию нового водостойкого материала на основе модификации гипсовых вяжущих обладающих положительными свойствами цемента и лишенных его недостатков.

Для России особенно актуально расширение возможностей использования гипса для строительства и отделки, так как:

- половина запасов мировых разведанных месторождений гипса находится на нашей территории;
- на производство гипса требуется примерно в пять раз меньше энергии, чем на производство цемента;
- он создает более комфортные условия для пребывания человека в помещении в различных климатических зонах при большом диапазоне изменения температурно-влажностных параметров;
- производительность работ со строительными и отделочными материалами на основе гипса может быть на порядок выше, а время работ на порядок меньше, чем при работе с аналогичными цементными смесями.

Основная проблема, требующая решения заключалась в том, что низко обжиговые (и, как правило, дешевые) марки гипса не позволяли получить строительный материал с требуемой водостойкостью, морозостойкостью и прочностью. Фирма «ВЕФТ» в течение нескольких лет совместно со специалистами МГСУ проводила научные исследования и экспериментальные работы в данной области. Результатом работы является получение **«модификатора гипса»** (Патент № 2211205 от 27.07.2003 г., Решение о выдаче патента по заявке № 2004115715/03(017033) от 25.05.2004 года). С ним гипсовые модифицированные материалы демонстрируют высокие характеристики при лабораторных и натурных испытаниях.

Эффективность модификатора подтверждена испытаниями в лаборатории МГСУ в 2004 году и независимой экспертизой, проведенной разработчиком и производителем полимерных добавок для строительных материалов – швейцарской фирмой «ELOTEX».

Сегодня только модификатор гипса позволит изготавливать на основе полуводного гипса низких марок качественные, водостойкие, морозостойкие и прочные:

- бетоны для несущих и ограждающих конструкций;
- легкие, теплозвукоизоляционные ячеистые бетон;
- «порогипсобетоны» для наружных стен и перегородок;
- полы;
- штукатурки для внутренних и наружных работ;
- водостойкие шпаклевки;

В связи с политикой государства, направленной на повышение уровня энергосбережения и поиск путей массового, быстрого и качественного строительства доступного жилья особый интерес представляет возможность применения новых строительных материалов на основе модифицированных гипсовых вяжущих, например порогипсобетона. Предлагаемая технология производства порогипсобетона не имеет аналогов. Её реализация позволяет получить материал, превосходящий по своим строительно-технологическим характеристикам имеющиеся отечественные и зарубежные стеновые материалы.

На лабораторно-производственной базе ООО «ВЕФТ» в городе Королеве, Московской области, в лабораториях МГСУ, на опытном заводе фирмы «ОКА-8» в Объединенных Арабских Эмиратах (эмират Шарджа) получены экспериментальные образцы и конструкции из порогипсобетона со следующими характеристиками:

- плотности 600 кг/м^3 ;
- прочность на сжатие до 30 кг/см^2 ;
- коэффициент размягчения $K_p=0,80$ (для справки K_p для материалов на основе цемента 0,8-1), характеризующий водостойкость;
- морозостойкость до 50 циклов;
- теплопроводность $A_t=0,12 - 0,14 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$.

Модифицированную гипсовые вяжущие сохраняют традиционно хорошие санитарно-гигиенические свойства гипсовых материалов и высокую скорость набора прочности, но при этом они обладают водостойкостью и высокими прочностными характеристиками. Сочетание этих свойств позволяет:

- повысить энергосбережение строящихся зданий;
- использовать материалы на основе модифицированного гипса в качестве несущих или ограждающих конструкций или применять как отделочные материалы в зданиях различного назначения и этажности;
- широко применять механизированные технологии производства строительных работ без использования тяжелой строительной техники;
- в несколько раз сократить сроки возведения зданий, повысить оборачиваемость опалубки и снизить себестоимость строительства.

При этом для производства материалов на основе модифицированных гипсовых вяжущих не требуется новых технологических линий и специальных машин.

Например, переход с пенобетона на порогипсобетон не требует переоборудования существующих технологических линий. При этом оборачиваемость форм увеличивается в четыре раза из-за уменьшения времени твердения материала в 10–12 раз, увеличивается водостойкость и морозостойкость применяемого ячеистого материала, улучшается качество его

поверхности, что существенно уменьшает объем и время отделочных работ, сокращается количество брака.

Применение нового ячеистого материала – порогипсобетона – особенно эффективно при возведении монолитных конструкций. При этом использование съемной опалубки для заливки порогипса сокращает срок возведения зданий в 6-8 раз, при снижении веса здания на 30 %. Появляется уникальная возможность производства работ по укладке пеногипса при температурах до -10°C . Что удлиняет период производства строительно-монтажных работ на 2-4 месяца без применения специальных технологий строительства при отрицательных температурах.

Гипсовые вяжущие при использовании модификатора гипса становятся хорошей альтернативой цементу. Широкое внедрение предлагаемой технологии на действующих гипсовых заводах существенно расширит область применения гипсовых вяжущих в строительстве, что будет стимулировать увеличение объемов потребления гипса в стране и способствовать восстановлению гипсового производства. Приоритетное развитие этого направления сможет создать реальные предпосылки к выполнению государственной программы доступного жилья.

Проведенный сравнительный анализ эффективности всех возможных в настоящее время вариантов ограждающих конструкций по стоимостному критерию, технологичности, производительности, времени возведения, физико-технических, теплофизических и эксплуатационных характеристик продемонстрировали неоспоримое преимущество ограждающих конструкций из модифицированного гипсобетона, построенных методом литья в съемную или несъемную опалубку непосредственно на строительной площадке.

Модифицированные гипсовые строительные материалы имеют явный экспортный потенциал, что дает надежду на внимание к ней со стороны Правительства Российской Федерации. В большинстве стран гипс дешевле цемента. Для стран азиатского региона гипс является традиционным строительным материалом, широкое применение которого сдерживают только выше указанные недостатки. Модификация гипсовых вяжущих позволит существенно расширить сферы применения гипсовых вяжущих в странах данного региона и перейти от использования цементных вяжущих к использованию местных вяжущих материалов. Даже мизерная информация о появившейся у нас возможности расширить функциональные возможности гипса (физико-механические, технологические, эксплуатационные) всколыхнула рынок, связанный с производством строительных и отделочных материалов, со строительством вообще. Очень многие хотят как можно быстрее получить возможность доступа ко всей линейке материалов на основе модифицированного гипса.

Дело остается за «малым» – организовать промышленное производство модификатора гипса. В промышленных масштабах пока его никто не производит, поэтому рынок – как российский, так и международный – практически безграничен. Сырьевые компоненты имеются в достатке.

В настоящее время экспериментальные производственные мощности ограничиваются выпуском 300-700 кг модификатора гипса в смену. Он используется для доводки рецептур, технологий, создания комплекса агрегатов и накопления необходимых статистических данных для научно- производственной группы занимающейся внедрением этой перспективной технологии.

Для оценки потенциальной емкости рынка достаточно привести два показателя:

– сырьё, из которого в дальнейшем получается порогипсобетон, состоит на 80 % из гипса (дешевого, низких марок - Г5 - Г7) и на 20 % из модификатора гипса;

– из (500 - 900) кг такого сырья, которое удобнее всего производить на существующих или создаваемых гипсовых заводах с применением поставляемого модификатора, в среднем будет получаться 1 м³ строительных конструкций.

При существующих масштабах строительства, решением простой арифметической задачи можно оценить потребность в модификаторе гипса, если гипотетически предположить замену недостающих ежегодно 10-15 млн. тонн цемента для строительного комплекса России.

Для наибольшей эффективности следует осуществлять комплексный подход к решению этого важного вопроса. Будущим потребителям модифицированного гипса предлагается различное оборудование, которое позволяет максимально раскрыть потенциал строительных и отделочных материалов на основе гипса, как в условиях стационарных производств, так и непосредственно на стройках:

– комплексы и минизаводы по производству сухих строительных смесей на основе гипса и цемента, позволяющие с различной степенью механизации и автоматизации выпускать весь спектр сухих строительных смесей – сырье для гипсопенобетона, теплые и самовыравнивающиеся полы, штукатурки для наружных и внутренних работ, шпаклевки, клей для кладки блоков из ячеистого бетона, клей для половой и облицовочной плитки, сырье для качественного гипсолитя и др. (экономические расчеты показывают, что административные образования при численности населения от 200 000 и более должны иметь такой собственный завод производительностью 1000-4000 т/месяц – это фактор собственного развития, занятость населения, увеличение собираемых налогов, удешевление строительства, так как транспортировка сухих строительных смесей на расстоянии более 500 км делает их по цене малопривлекательными и неконкурентоспособными);

– агрегаты для сушки песка и разделения его на фракции, необходимые при производстве большинства видов строительных и отделочных материалов; – механоактиваторы сырьевых компонентов и добавок; – запатентованные эжекторные турбулентно-кавитационные баросмесительные установки дискретного действия, разработанные специально для работы с гипсом на один замес можно изготовить до 0,75 м³ порогипсобетона, за час работы 3-10 м³; установки могут работать в стационарных условиях (производство сборных конструкций и блоков) и в построчных условиях (объекты монолитного строительства); – несколько вариантов комплексов непрерывной заливки порогипсобетона, один из них создается при участии «Центра нелинейных волновых технологий» РАН. Такие комплексы позволяют максимально сократить сроки возведения стен зданий и сооружений (от 30 до 80 кв. м. внутриквартирных перегородок за один час работы).

Совместное применение новых технологий и мобильных производственных комплексов позволит повысить качество выполняемых работ, сократить срок строительства и повысить производительность труда при значительном энергосбережении и экономии денежных средств, в том числе и в период эксплуатации зданий, построенных по данной технологии.

Расчеты показывают, что строительство жилого дома общей площадью 800 кв м при таком комплексном подходе сокращается до 48 ч.

Предлагаемые материалы на основе модифицированного гипса по своей природе являются естественными регуляторами требуемой для живых помещений влажности, а по экологической чистоте их можно сравнить только с деревом, но строительные материалы на основе гипса не имеют срока эксплуатации, т. к. вообще не меняют своей структуры при существующих природных внешних воздействиях.

Техническое оснащение для производства строительных материалов и бетонов на основе модифицированного гипса поднимет строительство жилых и других объектов на принципиально новый уровень, существенно увеличивая темпы строительства.

Запасы самого качественного гипса находятся в Дагестане, объем которого составляет несколько миллиардов. Гипс обладает большой энергосберегаемостью, в связи тем, что влажность его 4-6%. На базе МЧС России и в г. Видное был построен экспериментальный дом с участием МГСУ и братьев Козловых в течение 48 ч. На эксперименте присутствовали министр строительства России и помощник президента А. Котенков, аккредитации иностранных гостей более 40 стран. Оценка высокая по эксперименту.

Литература

Патент № 221 1205 от 27.07.2003 г. Решение о выдаче патента по заявке № 2004115715/03(017033) от 25.05.2004 года.

Технические требования

1. Статьи, в том числе приложения, примечания, список литературы, подписи к рисункам, таблицы, представляются в электронном виде по адресу dangeogis@mail.ru.

2. Формат текста: полуторный интервал, шрифт 14. Сжатие текста не допускается. Значимые слова выделяются жирным шрифтом или курсивом. Поля сверху 2см, снизу 2см, слева 3см, справа 2см. Объем статьи не должен превышать одного авторского листа (40000 знаков с пробелами), включая таблицы и список литературы. Исключение составляют заказные и обзорные статьи. Текст статьи должен быть также представлен в электронном виде. Текст представляется в файле с любым из расширений doc, docx, rtf.

3. В текстах статей можно размещать рисунки, таблицы, графики и схемы. Эти элементы статьи печатаются на отдельных листах. На рисунках должен быть минимум буквенных и цифровых обозначений, при масштабировании рисунков эти надписи будут не видны. Название рисунков и информация по ним должны приводиться в подрисуночных подписях.

При необходимости рекомендуется представлять рисунки в цветном варианте. Печать цветной графики является платной. Если автор не согласен оплачивать цветную печать, представляемая графика должна быть переработана в системе градаций серого таким образом, чтобы обеспечить ясность изображения и избежать необходимости допечатной коррекции. При этом рекомендуется присылать оба варианта рисунка с пометкой, что для печати автор просит использовать черно-белый вариант графики.

Разрешение растровых иллюстраций должно быть не менее 300 dpi.

4. При использовании в тексте сокращенных названий следует давать их расшифровку при первом применении или ограничиваться общепринятыми сокращениями.

5. Список используемой литературы дается в конце статьи в алфавитно-хронологическом (по первому автору) порядке: вначале на русском, а затем на английском и других иностранных языках. Авторский коллектив приводится полностью. В списке литературы даются только опубликованные работы. Ссылка в тексте дается в квадратных скобках и номер ссылки.

Список литературы оформляется с абзацем. Для книг: фамилии и инициалы авторов, полное название источника, город, издательство, год издания, число страниц. Статья из сборника: фамилии и инициалы авторов, полные названия как статьи, так и сборника в целом, место и год издания источника и номера страниц статьи. Статья из журнала: фамилии и инициалы авторов, название статьи и журнала, год издания, том, номер, страницы.

6. Упомянутые в статьях единицы измерения должны соответствовать Международной системе единиц СИ.

7. Занумерованные формулы обязательно выделяются красной строкой, номер формулы ставится у правого края. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Рукописи, оформленные с нарушением правил, возвращаются без рассмотрения.

Адрес редакции:
Россия, 367030, Махачкала, ул. М.Ярагского 75
© Институт геологии ДНЦ РАН
© Коллектив авторов

ISSN: 2541-9684

Научное издание

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

Ежеквартальный научный журнал
Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН
Выпуск № 3 (78) 2019

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 А.С., Ибаев Ж.Г., Идрисов И.А.
Набор – Гусейнова А.Ш.

Подписано в печать 23.09.2019 г. Формат 60x84¹/₈.
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Печать ризографная.
Усл. п. л. 11,6. Уч.- изд. л. 6. Тираж 200 экз. Заказ № 19-10-078.



Отпечатано в типографии АЛЕФ
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