

УДК 556.332.52:550.348.42

## О ВЛИЯНИИ СКВАЖИННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРХНЕУРСКОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА НА СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА<sup>1</sup>

ШТЕНГЕЛОВ Е. С.

(Одесский гос. ун-т)

Верхнеурский водоносный горизонт, приуроченный к оксфордским и кимеридж-титонским известнякам Главной гряды Крымских гор, обладает значительными естественными ресурсами подземных вод и играет важную роль в водоснабжении южной части полуострова. Его наиболее неблагоприятной с практической точки зрения особенностью является крайне непостоянный режим, и прежде всего резкое уменьшение родникового стока в летний и осенний периоды. Традиционный способ преодоления связанных с этим трудностей — создание водохранилищ, аккумулирующих часть весеннего паводкового расхода водотоков, питаемых наиболее крупными родниками. Однако возможности этого способа ограничены, в связи с чем в последнее время поднимается вопрос о целесообразности летне-осенней скважинной эксплуатации горизонта с отбором части емкостных запасов подземных вод с последующим восполнением в зимне-весенний период за счет интенсивной инфильтрации и инфилюации. Такая эксплуатация осуществляется с 1967 г. в восточной части Горного Крыма (район Субашского родника), а в настоящее время рассматривается вопрос о создании подобных кустов эксплуатационных скважин и в других частях Крыма (в том числе, в районе родника Карасу-Баши).

Ниже приводятся данные, свидетельствующие о том, что такой режим эксплуатации, приводящий к формированию в верхнеурском водоносном горизонте глубоких и обширных воронок депрессии, заметно влияет на сейсмичность южной части Крымского полуострова и может существенно ее интенсифицировать.

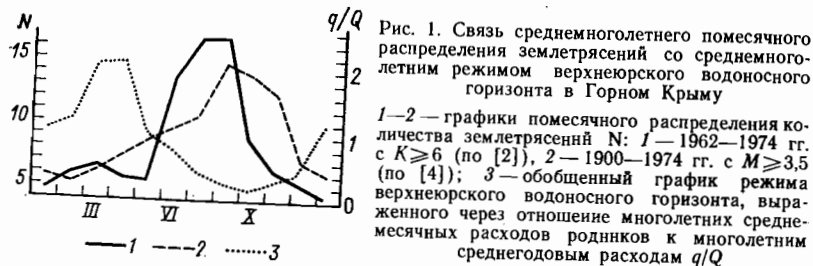
Прежде всего отметим существование четкой обратной связи между уровнем режимом верхнеурского горизонта и сейсмичностью Крыма (рис. 1). Последняя минимальна при наиболее высоком положении уровней подземных вод (декабрь — май) и резко возрастает в период их падения (июнь — октябрь). При этом большинство слабых землетрясений отмечается во время наиболее интенсивного снижения уровней подземных вод (июнь — август), а максимум числа сильных ( $M \geq 3,5$ ) толчков совпадает по времени с наиболее низким положением уровней (сентябрь-октябрь).

Во вспышке сейсмичности летне-осеннего периода наиболее значительную роль играют сильные землетрясения. Так, доля землетрясений, произошедших в августе — октябре, для толчков с  $M \geq 3,5$  составляет 37%;  $M \geq 4,5-5,4$ ;  $M \geq 5,5-6,3$  и  $M \geq 6,0-8,3$ %. Для слабых землетрясений связь между сейсмичностью и режимом подземных вод характе-

<sup>1</sup> Публикуется в порядке обсуждения.

ризуется определенной двойственностью: наряду с главным максимумом частоты землетрясений в начале межени наблюдается небольшой пик и в феврале-марте (см. рис. 1).

Сопоставление данных о многолетних изменениях расходов Аянского и Скельского родников (по которым имеются наиболее длинные ряды наблюдений) с сейсмологическими данными показывает, что известная вспышка сейсмичности Крыма в 1927—1930 гг. совпадает с периодом исключительного как по интенсивности, так и особенно по продолжительности уменьшения расходов родников, наблюдавшимся в 1926—



1930 гг. К этому периоду активизации относятся, в частности, разрушительные землетрясения 26.VI и 11.IX.1927 г. Первое из них совпадает с резким июньским падением уровней подземных вод (рис. 2). Июльское повышение их напоров временно приостановило развитие сейсмичности, однако уже в августе, когда уровни подземных вод снова начали падать, произошло два сильных толчка, а в сентябре, в условиях наиболее резкого падения уровней и расходов подземных вод, количество таких толчков достигло максимума (21). Еще один толчок произошел в октябре, после чего последовал осенний подъем уровней, и землетрясения прекратились вплоть до апреля 1928 г., когда началось новое падение напоров.

Связь между уровнем режимом подземных вод и сейсмичностью наблюдается и в других районах. Как показывает выполненное автором сопоставление гидрогеологических и сейсмологических данных, в одних районах эта связь, как и в Крыму, является преимущественно обратной, в других — прямой. Нередко она имеет двойственный характер: пики сейсмичности совпадают как с максимумами, так и с минимумами хода уровней подземных вод.

Вопрос о природе этой связи наиболее просто, с нашей точки зрения, решается в рамках «раздвиговой» гипотезы сейсмичности, рассмотренной в [6—8]. Приведенный в этих и других работах фактический материал позволяет предположить, что основным современным геотектоническим процессом является посторогенное раздвижение деформированной и напряженной альпийским орогенезом земной коры. Оно выражается в образовании и последующем росте полосовидных зон открытой, субвертикальной трещиноватости, дробящих земную кору на многочисленные блоки. В районах, где развиты породы с большим внутренним сцеплением и где раздвижение земной коры происходит достаточно быстро (что характерно для районов наиболее интенсивного орогенного сжатия), сдвиг-раздвиговый рост трещинных зон может сопровождаться землетрясениями.

Картирование трещинных зон в различных районах показывает, что имеется два типа их взаимоположения в плане: решетчатый и веерооб-

разный [7, 8]. В первом случае обычно наблюдаются две, часто взаимно перпендикулярные системы параллельных трещинных зон; во втором — одни из этих зон, характеризующиеся расширением, расходятся веерообразно в определенном направлении, а другие пересекают первые и имеют форму концентрических дуг, ориентированных выпуклостью в том же направлении. Если решетчатый рисунок сети трещинных зон обычно присущ районам, где мощность земной коры относительно постоянна, то веерообразность наблюдается только в районах ее направленного изменения (например, на континентальных окраинах и перифе-

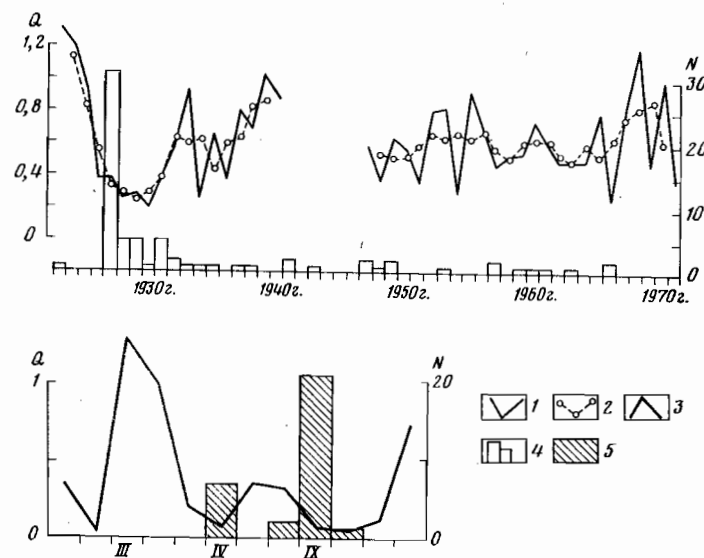


Рис. 2. Связь сейсмичности Крыма с режимом верхнеюрского водоносного горизонта в 1924—1974 гг.

1—3 — колебания расходов  $Q$  Аянского родника: 1 — среднегодовых, 2 — среднегодовых (сглаженных), 3 — среднемесячных в 1927 г.; 4 — количество сильных землетрясений  $N$  в год (по [4]); 5 — количество сильных землетрясений  $N$  в месяц в 1927 г. (по [4])

риях горноскладчатых сооружений). Поскольку расширение и взаиморасхождение трещинных зон отмечается всегда в сторону утоньшения земной коры, есть основания считать, что причиной веерообразного расположения раздвигов служит изменение мощности (а следовательно, и прочности) верхней, наиболее жесткой части литосферы. С уменьшением прочности коры формирование трещинных зон облегчается, и все раздвиги, ориентированные в эту сторону, испытывают в данном направлении расширения, благодаря чему перпендикулярные им зоны приобретают дугообразные очертания. Строение Крымского, Курило-Камчатского, Кольско-Скандинавского и некоторых других вееров раздвижения земной коры описано в [7, 8].

Сопоставление сейсмичности с режимом подземных вод показывает, что прямая связь между ними наблюдается в районах с решетчатым рисунком сети трещинных зон. Очевидно, увеличение гидростатического напора в трещинных зонах способствует ускорению естественного про-

цесса их раздвижения (рис. 3, А), что может сопровождаться увеличением числа сейсмогенных разрывов. Такое увеличение напоров подземных вод может происходить как за счет их естественных колебаний, так и в результате определенных технических мероприятий (сооружения высоконапорных водохранилищ, нагнетания воды или других флюидов в скважины) [3, 5]. В принципе возможны еще три варианта деформации рассматриваемых трещинных зон под влиянием изменений гидростатического напора: 1) при уменьшении напора в пределах одной зоны

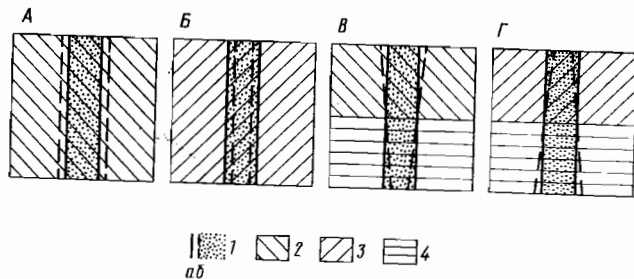


Рис. 3. Схема деформации зоны раздвижения (в плане) при изменении гидростатического давления трещинных вод

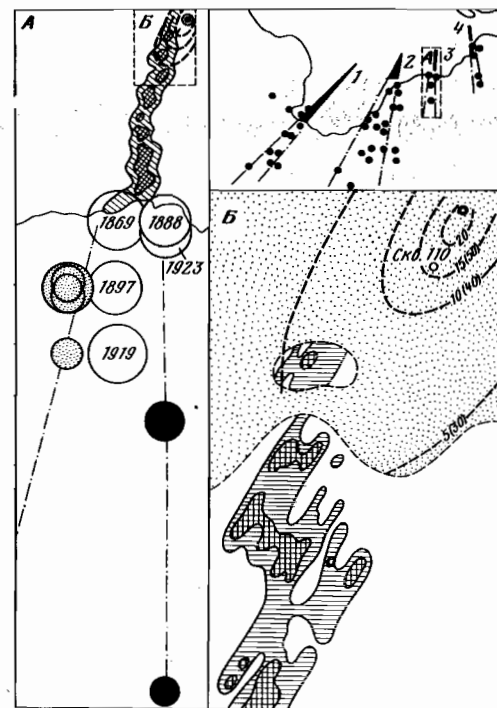
1 — трещинная зона раздвижения и ее граница до (а) и после (б) изменения напора трещинных вод

Области: 2 — увеличения, 3 — уменьшения и 4 — постоянного напора

возможно ее сужение (рис. 3, Б), что может привести к расширению соседних зон; 2) при увеличении напора на одном участке трещинной зоны здесь должна возникать тенденция к расширению, в результате чего из-за жесткости ограничивающих трещинную зону блоков может произойти реактивное сужение ее смежного участка (рис. 3, В); 3) при локальном уменьшении напора в данном месте трещинной зоны может произойти ее сужение, вызывающее реактивное расширение смежного участка зоны (рис. 3, Г).

Во всех районах веерообразного расположения трещинных зон связь между режимом подземных вод и сейсмичностью является преимущественно обратной. Для понимания механизма такой связи следует иметь в виду, что все вееры раздвижения состоят из двух частей: внутренней (толстая земная кора, горный рельеф, малые ширина и скорость расширения трещинных зон) и внешней (тонкая кора, низменный рельеф, большие ширина и скорость расширения трещинных зон). Амплитуда колебаний уровней подземных вод в центральных, горных частях вееров значительно больше, чем в их внешних частях. Поэтому в период падения гидростатических напоров в центре данного веера должна возникать тенденция к одновременному сужению (во всяком случае, прекращению расширения) трещинных зон, что должно вызывать реактивное расширение (по схеме на рис. 3, Г) в пределах периферийных продолжений этих зон, где падение напоров подземных вод будет незначительным (как, например, в Крыму, где эти продолжения находятся на шельфе). Так как скорость расширения внешних участков веерообразно расположенных трещинных зон и без того велика, ее дополнительное увеличение существенно активизирует сейсмичность.

Приведенное объяснение природы обратной связи между режимом подземных вод и сейсмичностью, конечно, гипотетично, но оно хорошо



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Рис. 4. Положение, строение и сейсмичность Агармышско-Судакской зоны раздвижения. Условные обозначения: 1 — сейсмичные зоны раздвижения Крыма (1 — Балаклавско-Симферопольская, 2 — Карабийско-Ялтинская, 3 — Агармышско-Судакская, 4 — Феодосийская); 2 — участки интенсивной и 3 — весьма интенсивной трещиноватости пород по геоморфологическим данным; 4 — участки интенсивной и 5 — весьма интенсивной трещиноватости пород по гамма-метрическим данным; 6 — эпицентры сильных землетрясений 1853—1973 гг. (по Б. Г. Пустовитенко и А. Г. Камелобродскому); 7 — сильные землетрясения Агармышско-Судакской зоны и год их возникновения (по [4]); 8 — землетрясения 1967 г. (по [2]); 9 — землетрясения 1968 г. (по [2]); 10 — Субашский источник; 11 — изолинии падения гидростатического напора в верхнеюрском водоносном горизонте в результате опытно-эксплуатационной откачки 1966—1967 гг., в скобках — в результате эксплуатационной откачки 1968 г. (предположительно); 12 — участки развития покровных отложений, где гамма-метрическое изучение трещиноватости не проводилось; 13 — вероятные границы шельфового продолжения Агармышско-Судакской трещинной зоны

согласуется с фактическим материалом, в том числе имеющимся по Крыму, где веерообразность расположения трещинных зон проявляется весьма четко (рис. 4).

Проанализируем сейсмический режим Крыма в период опытно-эксплуатационных и эксплуатационных откачек на участке Субашского родника, которые уже упоминались. Этот высокодебитный родник дренирует верхнеюрский водоносный горизонт на северном склоне восточной части Крымских гор и находится в пределах Агармышско-Судакской трещинной зоны — крупного субмеридиально ориентированного раздвига, детально околтуренного автором с помощью гамма-метричес-

ких и морфометрических методов (рис. 4) [7, 8]. Во второй половине 1965 г. здесь были начаты и выполнялись до конца 1966 г. многочисленные пробные откачки из одиночных скважин, а с конца 1966 г. до середины 1967 г. — опытно-эксплуатационная откачка, вызвавшая образование обширной депрессионной воронки, имеющей форму овала с длинной осью, направленной вдоль трещинной зоны (рис. 4). При этом понижение напоров подземных вод относительно их минимальных величин в естественных условиях достигло в центральных скважинах 30—65 м.

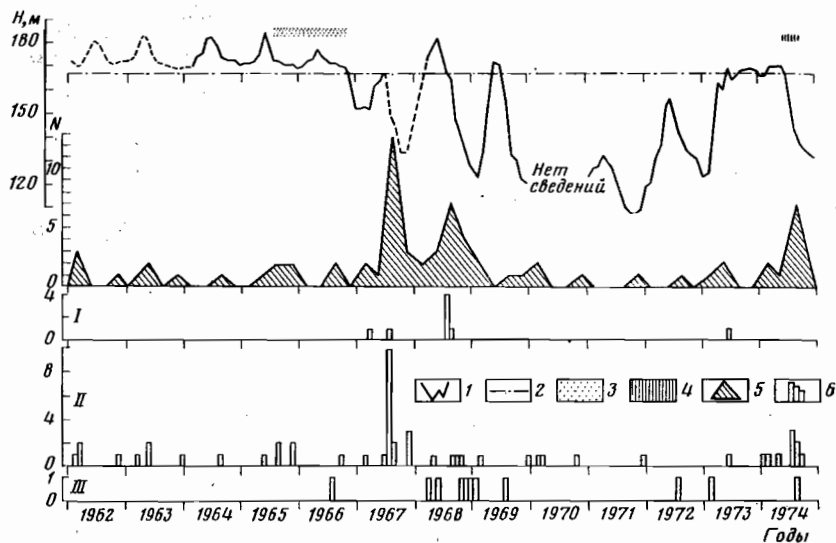


Рис. 5. Связь сейсмичности северо-восточной части Черного моря с колебаниями уровней подземных вод в Агармышско-Судакской зоне

I — колебания напора  $H$  в верхнеюрском водоносном горизонте по наблюдательной скважине № 110 (по О. Е. Фесюнову и К. П. Жариковой); 2 — естественный меженьный уровень воды в скважине № 110; 3 — период пробных и опытных откачек в Агармышско-Судакской зоне; 4 — то же в Карабийско-Ялтинской зоне; 5 — изменение общего месячного количества землетрясений  $N$  в Карабийско-Ялтинской, Агармышско-Судакской и Анапской зонах; 6 — месячное количество землетрясений  $N$  в отдельных зонах (I — Судакской; II — Ялтинской; III — Анапской)

Еще более значительные понижения были достигнуты при эксплуатационных откачках (рис. 5). Размеры и формы образованных ими депрессионных воронок неизвестны. Однако, исходя из предположения, что воронки при опытно-эксплуатационной и эксплуатационных откачках конформны как в плане, так и в вертикальных сечениях, можно считать, что эксплуатационные воронки депрессии охватили практически всю площадь Агармышско-Судакской трещинной зоны. Столь значительное изменение естественной пьезометрической ситуации в восточной части Горного Крыма не могло не повлиять на сейсмический режим этого и окружающих районов.

Прежде всего рассмотрим сейсмичность собственно Агармышско-Судакской зоны. В целом она невелика: за исторический период здесь отмечено только семь толчков с  $M \geq 3,5$  (в Карабийско-Ялтинской зоне 94, Симферопольско-Балаклавской 11, Феодосийской 8), а за время

1951 (более ранний материал автором не изучался) по 1967 г. здесь не произошло ни одного толчка, который был бы зарегистрирован всеми сейсмостанциями Крыма (что позволило бы определить координаты его очага). В период же 1967 и 1968 гг. таких толчков отмечено семь: один — при опытно-эксплуатационной откачке (24.III. 1967 г.), один — в период первой эксплуатационной откачки (9.VII. 1967 г.) и пять — во время еще более глубокой второй эксплуатационной откачки (22.VII и 19.VIII. 1968 г.). Все толчки были приурочены к границам вероятного шельфового продолжения Агармышско-Судакской зоны (см. рис. 4), что согласуется с гипотезой плановой деформации трещинной зоны при одностороннем падении гидростатического давления, вызывающем реактивное расширение той части зоны, где давление остается неизменным (рис. 3, Г).

Вспышка сейсмической активности в период субашских откачек отмечена также к западу от Агармышско-Судакской зоны — в пределах наиболее сейсмоактивной в Крыму Карабийско-Ялтинской зоны. Резкое увеличение числа толчков наблюдалось здесь в июле-августе 1967 г., во время первой эксплуатационной откачки (см. рис. 5), а также в начале шестой откачки. Не исключено, однако, что это повышение сейсмической активности связано с проведением в июне—августе 1974 г. опытных откачек из четырех скважин на участке родника Карасу-Баши, т. е. непосредственно в северной части Карабийско-Ялтинской зоны.

Оживление сейсмичности во время субашских откачек наблюдалось и к востоку от Агармышско-Судакской зоны (в Анапском районе). Отсутствие постоянных сейсмостанций в Анапе и Керчи затрудняет изучение местной сейсмичности, так как станции в Феодосии и Сочи фиксируют происходящие здесь толчки только 10-го и более высоких энергетических классов. Значительное увеличение частоты таких толчков, которое приходится на 1968 г. и совпадает по времени со второй эксплуатационной откачкой в Субашском районе (см. рис. 5), связано, очевидно, с нарушением естественного режима раздвижения земной коры в северо-восточной части Черного моря под влиянием деформации (главным образом, сужения) Агармышско-Судакской зоны в результате техногенного уменьшения внутреннего гидростатического давления в этой зоне. Что касается известного Анапского землетрясения 12.VII. 1966 г., то его связь с пробными и опытными откачками в Субашском районе (рис. 5) находится под вопросом, хотя и не исключена.

Сопоставление сейсмологических данных по Карабийско-Ялтинскому, Агармышско-Судакскому и Анапскому районам показывает, что большинство подземных толчков связано с падением уровней подземных вод, а наиболее значительные вспышки сейсмичности совпадают с начальными периодами первой (1967 г.), второй (1968 г.) и шестой (1974 г.) эксплуатационных откачек.

Землетрясения, произошедшие в период субашских откачек, не были ошутимыми и разрушительными. Однако ниже будут приведены данные, свидетельствующие о том, что резкое увеличение оползневой и абразионной активности, имевшее место в южной части Крыма в 1968—1970 гг., обусловлено не столько повышенным количеством атмосферных осадков в 1967—1968 гг., сколько ускорением процесса формирования трещинных зон после субашских откачек. Безусловно, увеличение интенсивности поверхностного и подземного стока является необходимым условием активизации любых экзогенных геологических процессов. Так, ускорение формирования трещинных зон, проявившееся в виде известной вспышки сейсмичности в 1927—1930 гг., совпало (см. выше) с исключительно маловодным периодом и в связи с этим не вызвало сколько-нибудь за-

метной активизации оползневой, абразионной, эрозионной и других экзогенных процессов. С другой стороны, такой активизации не отмечается и в годы, когда выпало большое количество осадков, но скорость формирования трещинных зон, судя по низкой сейсмичности района, была невелика (например, 1960—1962 и 1965 гг.—рис. 6).

Данные, приведенные в таблице и отраженные на рис. 6, показывают, что активизация оползневой и абразионной процессов наблюдается (с некоторым отставанием во времени) лишь тогда, когда периоды

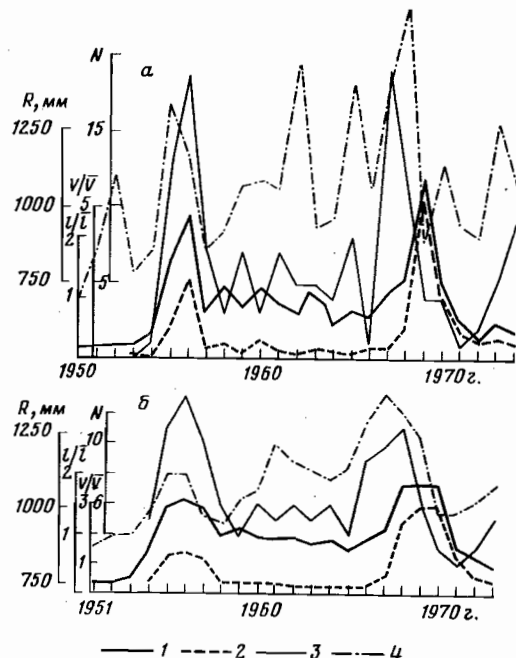


Рис. 6. Связь оползневой и абразионной активности в Крыму с местной сейсмичностью и количеством атмосферных осадков (а — реальные значения; б — значения, сглаженные методом скользящего среднего)

1 — оползневая активность (отношение суммы годовых смещений всех наблюдаемых оползней Крыма к среднегодовой сумме смещений  $L/\bar{L}$ ); 2 — абразионная активность (отношение суммы годовых объемов размыва на всех наблюдаемых участках к среднесреднегодовой сумме размыва  $V/\bar{V}$ ); 3 — годовое количество землетрясений в Крыму  $N$ , для которых определены координаты очагов (по [1, 2]); 4 — годовое количество атмосферных осадков  $R$  по метеостанции «Ай-Петри»

повышенной водообильности совпадают с периодами ускоренного формирования трещинных зон раздвижения. В Крыму такое совпадение наиболее вероятно в случаях техногенной активизации раздвижения земной коры, поскольку, как было показано выше, связь между естественной сейсмичностью и водностью является в Крыму обратной. Действительно, оба периода повышенной скорости формирования трещинных зон, вызвавшие на протяжении трех последних десятилетий резкую активизацию экзогенных процессов в Крыму, связаны с техническими мероприятиями: заполнением в 1954—1956 гг. Симферопольского водохра-

Коэффициенты корреляции между среднегодовыми величинами подвижек всех наблюдаемых оползней Крыма и годовыми количествами атмосферных осадков и местных землетрясений (1951—1973 гг.)

	Годовое количество атмосферных осадков	Годовое количество местных землетрясений	Годовое количество атмосферных осадков, $\pm 0,1$ годового количества землетрясений
За тот же год	+0,18	+0,58	+0,49
За предыдущий год	+0,53	+0,65	+0,75

нилища (этот вопрос здесь не рассматривается) и субашскими откачками подземных вод в 1967—1968 гг.

В целом приведенные материалы свидетельствуют о необходимости осторожного подхода к любым мероприятиям, вызывающим нарушение естественного пьезометрического режима подземных вод в Горном Крыму. Это в первую очередь относится к наиболее сейсмоактивной Карабийско-Ялтинской зоне и, в частности, к району родника Карасу-Баши в ее северной части. Если даже в сейсмически малоактивной Судакской зоне снижение пьезометрических напоров вызвало столь заметную интенсификацию сейсмичности, то откачки в районе родника Карасу-Баши, несомненно, могут привести к серии сильных толчков на Крымском шельфе. Как уже указывалось, возможность скважинной эксплуатации дерхнеюрского горизонта в районе Карасу-Баши в настоящее время рассматривается, и в 1974 г. здесь уже выполнено четыре опытных откачки. Показательно, что во время этих откачек на шельфовом продолжении Карабийско-Ялтинской зоны произошло шесть толчков с  $K = 7-10$ , а всего за этот год здесь отмечено девять толчков с  $K \geq 6$ , хотя в предыдущие годы, не считая периодов возбужденной сейсмичности 1955—1956 и 1967 гг., годовое количество таких толчков в зоне никогда не превышало пяти.

Несомненно, что изучение вопроса о связи между режимом подземных вод и возникновением землетрясений представляет большой интерес и для других сейсмоопасных районов.

Поступила 18 XII 1978

#### Литература

1. Бюллетени сети сейсмических станций СССР за 1951—1961 гг. М., Изд-во АН СССР, 1952—1963.
2. Землетрясения в СССР (ежегодники за 1962—1974 гг.). М., «Наука», 1964—1976.
3. Николаев Н. И. Влияние инженерной деятельности человека на изменение режима эндогенных процессов. Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1977, № 4.
4. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М., «Наука», 1977.
5. Фокин В. М., Волейшо В. Д. Механизм формирования напряженного состояния в очагах землетрясений, вызванных деятельностью человека. Советская геология, 1978, № 3.
6. Штенгелов Е. С. Зональность современного напряженного состояния земной коры и сейсмичность. ДАН СССР, 1977, т. 235, № 2.
7. Штенгелов Е. С. О веерообразности современного раздвижения земной коры и о природе зон Бениофа. ДАН СССР, 1978, т. 240, № 4.
8. Штенгелов Е. С. Некоторые вопросы плиоцен-четвертичного раздвижения континентальной коры. Бюл. МОИП, отд. геологич., 1979, т. 54, вып. 4.