

УДК 624.131:551.523.556.3

Е. А. Черкез, доктор геол.-мин. наук, профессор
Д. В. Мелконян, кандидат физ.-мат. наук, доцент
Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
кафедра инженерной геологии и гидрогеологии,
Шампанский пер., 2, Одесса, 65058, Украина

ОЦЕНКА РОЛИ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ ОДЕССКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Оценена роль флуктуации отдельных природных факторов — атмосферных осадков и колебания уровня подземных вод — в оползневом процессе на участке Одесского побережья Ланжерон — Аркадия за период с 1954 по 1969 гг. Флуктуации рассматриваемых факторов изучены на фоне вариации солнечной активности. Выявлены отдельные периоды синхронной флуктуации указанных факторов и скоростей смещения реперов в пределах оползневого склона и коренного массива.

Ключевые слова: оползни, атмосферные осадки, подземные воды, солнечная активность, флуктуации.

Введение

Оползни Одесского побережья представляют собой сложный многофакторный процесс, и успех борьбы с ними всецело зависит от того, насколько учтены при назначении противооползневых мероприятий закономерности развития оползней и установлены основные факторы, вызвавшие оползень и поддерживающие его развитие.

Целью настоящей статьи является оценка роли атмосферных осадков и подземных вод (на фоне флуктуации солнечной активности) в развитии оползневого процесса на участке Одесского побережья Ланжерон — Аркадия за период с 1954 по 1969 гг.

В связи с этим в нашем исследовании предусматривалось: 1) изучить флуктуации рассматриваемых факторов и скоростей смещения реперов, расположенных в пределах оползневого склона и коренного массива; 2) количественно и качественно оценить участие вышеуказанных факторов в оползневом процессе.

Оползень всегда обусловлен совокупностью различных факторов, и каждый фактор играет свою роль в оползневом процессе. Отметим, что факторами оползневого процесса являются не только любое обстоятельство или процесс, которые приводят к формированию оползня, но и те, которые влияют на динамику, механизм смещений и деформаций пород склона после основного смещения. Подразделение факторов на главные и второстепенные достаточно условно, т. к. в зависимости от стадии и фазы оползневого процесса, выполнения отдельных противооползневых и берегозащитных мероприятий, вклад любого из факторов может изменяться. Например, на

северо-западном побережье Черного моря основным фактором формирования оползней выдавливания является абразия, негативное влияние которой было устранено в результате строительства комплекса противооползневых и берегозащитных сооружений в пределах значительной части Одесского побережья. Вместе с тем, опыт эксплуатации противооползневых сооружений показывает, что их выполнение не приводит к полному прекращению деформаций пород оползневого склона. Это может быть обусловлено несколькими группами причин и факторов. Одна из них — это причины технологического и технического характера и вторая — природные, среди которых наиболее быстро изменяющиеся во времени — количество атмосферных осадков и уровень подземных вод. Большинство исследований [1, 2, 3, 4] указывают на отсутствие непосредственной зависимости между формированием оползней выдавливания на Одесском побережье и изменением климатических условий. Однако эти и другие исследования [5] позволяют заключить, что атмосферные осадки, ветровой и температурный режим влияют на изменчивость уровня подземных вод и опосредованно на активизацию деформаций пород склонов.

Важная роль подземных вод в развитии оползней на Одесском побережье отмечена в работах [1, 2, 3, 5, 6]. Наличие подземных вод может увеличить сдвигающие силы (увеличение веса пород, появление фильтрационных сил) и уменьшить прочность пород. Периодическое промачивание и высыхание покровных образований, обуславливающее циклические изменения их устойчивости, одновременно может способствовать необратимому процессу выветривания. Подчеркнем, что интенсивность оползневых смещений, например, в лессовидных породах возрастает вместе с освоением территорий, главным образом вследствие подъема уровня четвертичного водоносного горизонта, вызванного техногенным обводнением прибрежной части плато, которая наиболее чувствительна к изменениям природной обстановки [7]. Увеличение количества оползней с ростом уровня грунтовых вод обусловлено возрастанием мощности ослабленной зоны, формирующейся в результате изменения напряженного состояния и снижения прочности лессовидных суглинков [7].

Большинство факторов формирования и активизации оползней взаимосвязаны и взаимодействуют. Тем не менее, разложение комплексного действия факторов на составляющие элементы необходимо для оценки их роли в оползневом процессе.

Результаты анализа фактического материала

Анализ данных многолетних геодезических наблюдений показывает, что после выполнения противооползневых мероприятий оползневые склоны Одесского побережья медленно деформируются со скоростью от нескольких до десятков миллиметров в год. В целом незначительные величины оползневых смещений и деформаций могут оказаться предельными для многих сооружений, что обуславливает необходимость рассмотрения вопросов длительной устойчивости склонов по деформированному состоянию.

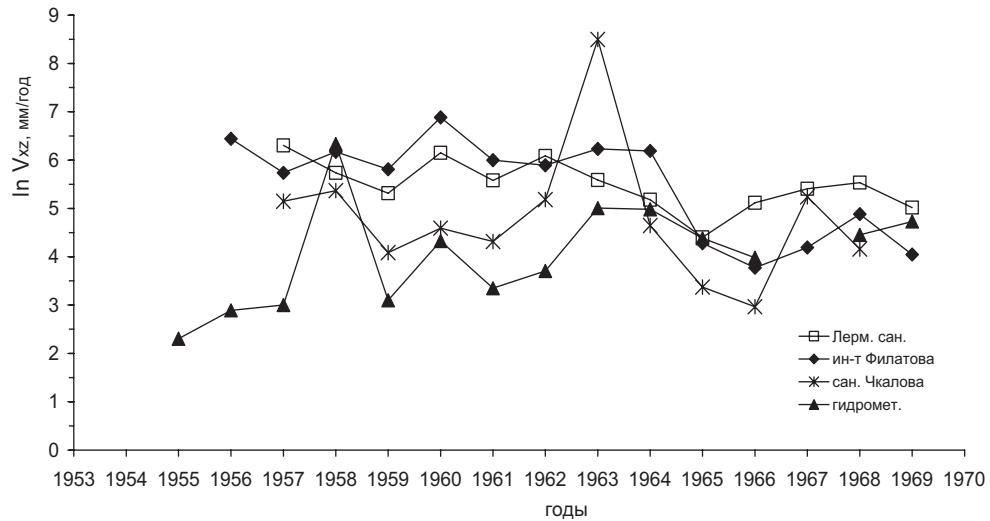
В силу недостаточной разработанности эффективных детерминированных методов прогноза оползневых смещений и критериев запаса прочности по деформациям большое значение имеет анализ данных многолетних геодезических наблюдений за режимом деформирования склонов и факторов, которые непосредственно или косвенно могут оказывать влияние на устойчивость склона.

В рамках современных представлений эволюция и развитие природных процессов рассматриваются в составе концепций, среди которых наиболее рациональными представляются гелиогеодинамические модели. Существенным аспектом данных моделей является ритмический (периодический) характер поступления в геосистему энергии, вовлекаемой в геологический круговорот и затрачиваемой на развитие и эволюцию ее подсистем: поглощение и трансформация солнечной энергии, влагооборот, геохимический круговорот, механические перемещения вещества под действием силы тяжести и др.

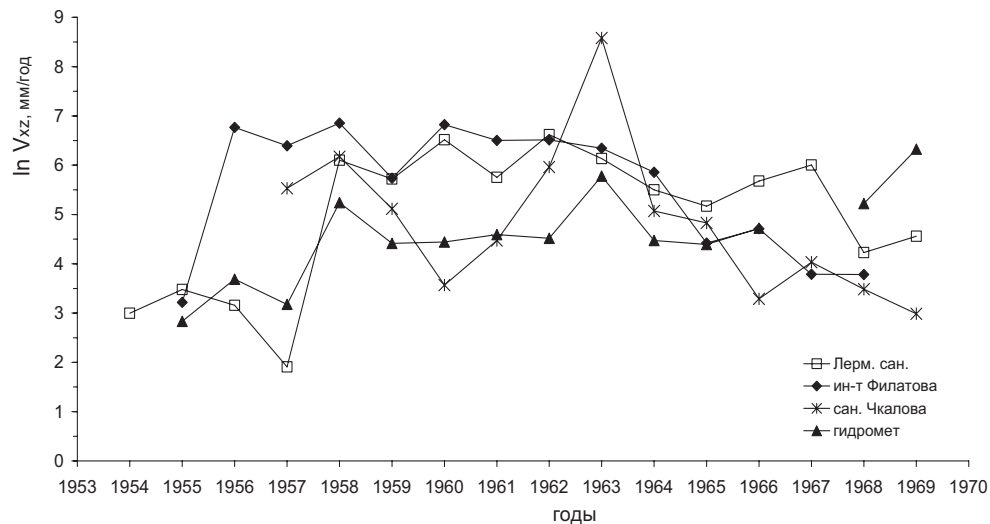
Колебания солнечной активности вызывают возмущения магнитного поля Земли и циркуляции атмосферы, а через последнюю воздействуют на климат, гидрологические процессы и т. д. Колебания климата вызывают изменения уровня морей, озер, водности рек, характера почв и даже рельефа. Кроме того, поднятия и опускания земной коры влекут за собой изменения гидрогеологических условий, а в некоторых случаях вызывают перестройку геологических комплексов в целом. В то же время большинство природных процессов связано с “источниками периодичности” опосредованно, поэтому многообразие связей между разными компонентами геосистем приводит к формированию сложных интегративных временных гармоник, образованных путем сложения, интерференционных и когерентных явлений в ходе перераспределения внешней энергии.

Периодическое увлажнение горных пород может значительно больше влиять на интенсивность деформации пород, чем постоянное водонасыщение. В процессе многократного циклического увлажнения горных пород деформации носят неравномерный характер, могут сопровождаться чередованием периодов ускорения и замедления. В связи с этим мы проанализировали данные скоростей смещения реперов (рис. 1), расположенных в пределах склонов на участке побережья Ланжерон — Аркадия, и изучили флуктуации этих же скоростей (рис. 2) и колебания уровней подземных вод (рис. 3, 4).

Геодезические наблюдения за перемещением реперов на оползневых склонах Одесского побережья были начаты Одесской оползневой станцией в 1934 г., однако их длительность не превышала 2-3 лет. Относительно систематические геодезические наблюдения на побережье проводились Причерноморской ПСЭ с 1954–1955 гг. по 1969 г. На участке побережья Ланжерон — Аркадия были заложены 23 геодезических створа, состоявших из 10–15 реперов, по которым определялись вертикальные и горизонтальные составляющие смещений. В пределах каждого створа реперы были сгруппированы по морфодинамическим зонам: плато, верхняя, средняя и нижняя части склона. Для каждой из морфодинамических зон определялись средние величины смещений реперов по створу и средние по участку побережья.



а)



б)

Рис. 1. Графики результирующих скоростей (V_{xz}) смещения реперов участков: Лермонтовский санаторий, институт им. В. П. Филатова, санаторий им. В. Чкалова и гидрометобсерватория: а — средняя часть склона; б — нижняя часть

На рис. 1 приведены графики результирующих скоростей (V_{xz}) смещения реперов для средней (наиболее характерной) и нижней части склонов участков гидрометобсерватория, Лермонтовский санаторий — стадион “Динамо”, ин-т им. Филатова и санаторий им. Чкалова. Рис. 1 демонстрирует пространственную однородность процессов деформации на склонах указанных участков исследуемой территории. Учитывая общий динамический

характер смещений во времени на данных участках, далее флуктуации скоростей смещения реперов рассматривались нами для целого единого участка Ланжерон — Аркадия (рис. 2).

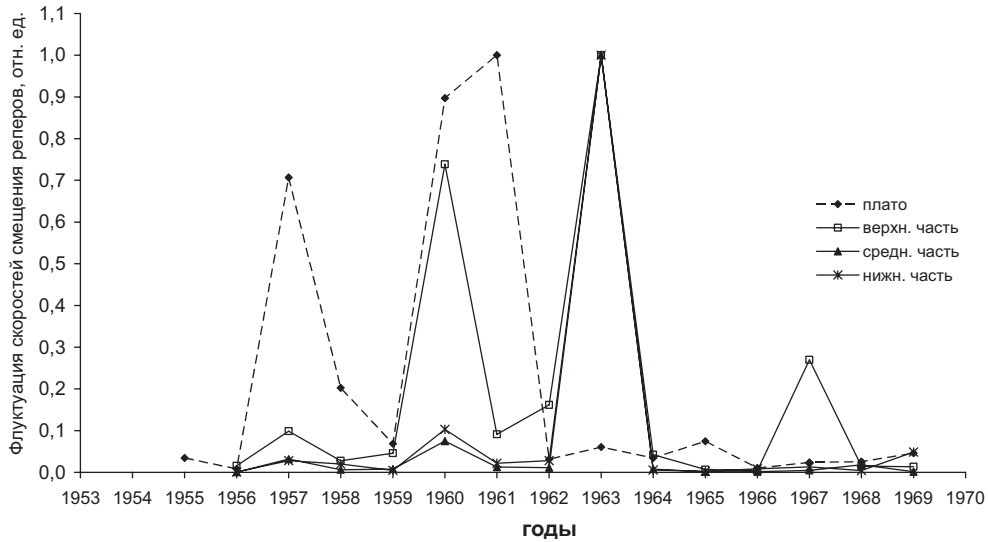


Рис. 2. Флуктуация результирующих скоростей (V_{xz}) смещения реперов (участок Ланжерон — Аркадия)

Следует отметить, что для верхней части склона и для плато характер распределения скоростей смещения реперов имеет такой же вид, как для средней и нижней части склонов.

Что касается отклонений некоторых точек на рис. 1, то, как отмечает Е. П. Емельянова [3], у каждого отдельного оползневого склона его характеристики могут в большей или меньшей мере отклоняться от их средних значений, т. е. представляют собой случайные величины, а закономерности оползневых процессов проявляют себя как статистические закономерности.

Для сравнительного анализа использованы данные режимных наблюдений по 16 наблюдательным скважинам за период с 1954 по 1969 гг.

Для выявления причинно-следственных связей сопоставили эти данные с данными, представляющими аномалии солнечной активности и атмосферных осадков (рис. 5). На рисунках 2–5 все величины — стандартизированные безразмерные единицы, указывающие на флуктуацию по отношению к среднему значению. Заметим, что исследуемый нами период времени включает цикл солнечной активности продолжительностью 10,5 лет. На рис. 5 этот цикл отражается как 10-летний (1954–1964 гг.).

Из рис. 3 видно, что для четвертичного водоносного горизонта четко выделяются интервалы времени (1955–1958 гг., 1958–1961 гг., 1961–1965 гг., 1965–1968 гг.), при которых скорости колебания уровней сильно варьируют.

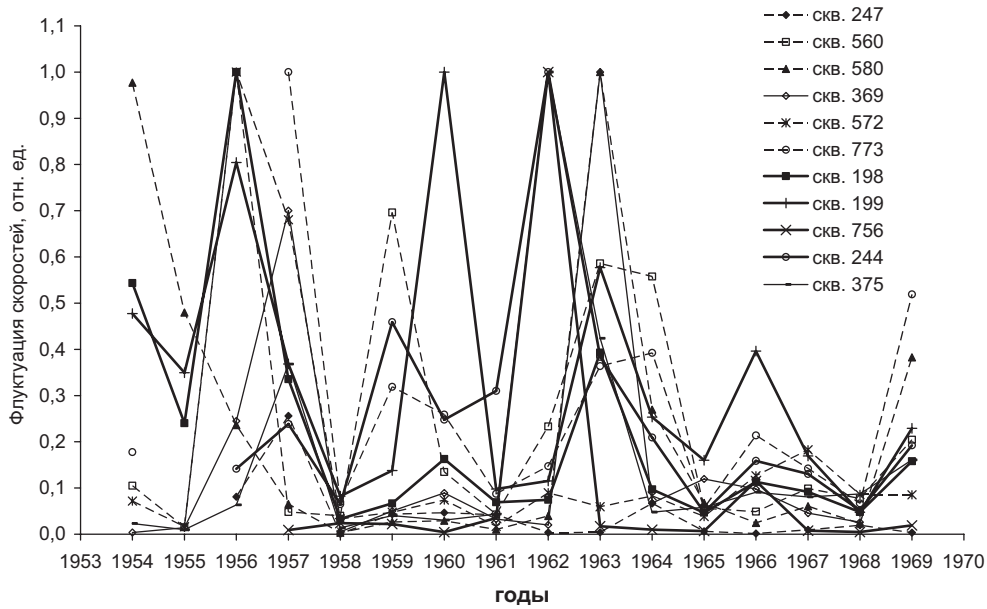


Рис. 3. Флуктуация скоростей колебания среднегодового уровня четвертичного водоносного горизонта

Примечание: пунктирные линии относятся к скважинам, находящимся в зоне влияния дренажных сооружений

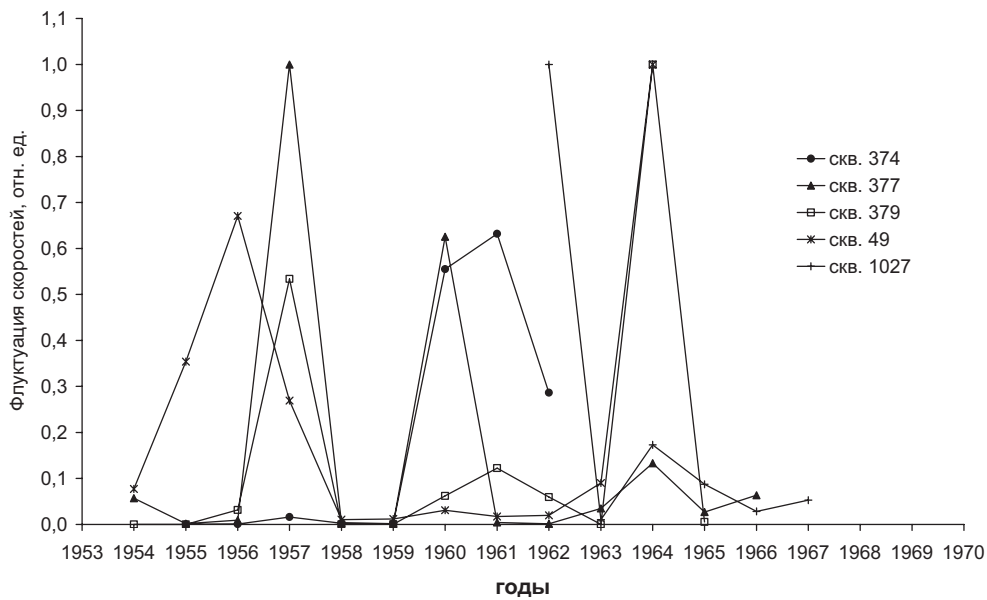


Рис. 4. Флуктуация скоростей колебания среднегодового уровня понтического водоносного горизонта

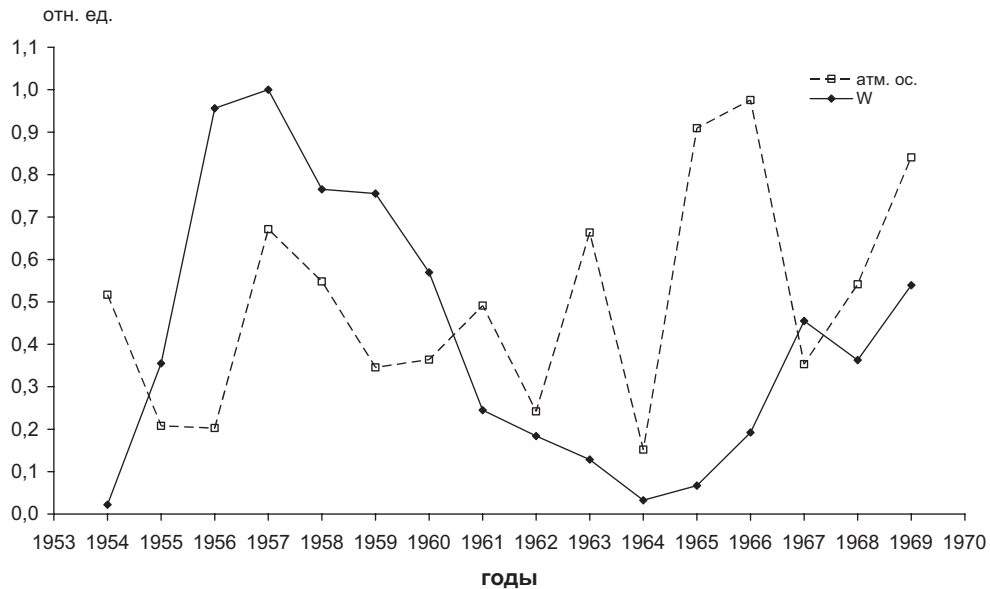


Рис. 5. Флуктуация солнечной активности и атмосферных осадков

Вероятно, такое различие в дисперсии скоростей колебания уровней связано либо с горизонтальной фильтрационной неоднородностью пород исследуемой территории, либо с особенностями совместного воздействия различных факторов.

Что касается понтического водоносного горизонта (рис. 4), то здесь максимумы также выделяются в те годы, которые выражены для четвертичного водоносного горизонта, хотя тут интервалы флуктуации скоростей колебания уровней несколько разные. Например, здесь в отличие от четвертичного водоносного горизонта, трудно четко выделить интервал 1958-1961 гг.

Анализ данных солнечной активности и атмосферных осадков показывает, что их флуктуация тоже происходит в указанных интервалах (рис. 5). На рис. 5 эти интервалы (1955–1958 гг., 1958–1961 гг., 1961–1965 гг., 1965–1968 гг.) четко отделяются друг от друга с резкими вариациями солнечной активности и атмосферных осадков.

Сравнение кривых флуктуации скоростей колебания среднегодовых уровней четвертичного водоносного горизонта (рис. 3) с флуктуациями скоростей смещения реперов (рис. 2) в пределах склона показывает, что флуктуации скоростей смещения тоже происходят в этих же интервалах. Здесь несовпадение имеет место только для плато, однако вариации скоростей смещения для плато совпадают с флуктуациями атмосферных осадков (рис. 5). Также следует отметить, что при сопоставлении характеристик рассматриваемых процессов мы не выявили таких явно выраженных периодов времени согласованного протекания этих процессов, как это имеет место при сопоставлении их флуктуации.

Таким образом, анализ данных позволяет предположить, что флуктуации скоростей колебания уровней подземных вод и атмосферных осадков играют определенную роль в деформации склонов. Период флуктуации этих скоростей совпадает с периодом аномалий солнечной активности. С аномалиями солнечной активности деформация склона связана опосредованно. Совместное воздействие флуктуации этих факторов устанавливает границы ритмического характера деформации склонов и определяет интенсивность деформации.

Показанные на рис. 2 и 3 небольшие амплитуды вариации скоростей деформации склонов и колебания уровней в период с 1965 по 1968 гг. обусловлены проведением на исследуемой территории противооползневых мероприятий. Здесь особенно важно заметить, что за этот период с уменьшением амплитуды вариации уровней происходило уменьшение амплитуды вариации смещения реперов, что свидетельствует о непосредственном влиянии на деформацию склонов вариации скоростей колебания уровней подземных вод.

Конечно, незначительный период наблюдений за оползневыми процессами пока не позволяет провести на основании этих данных надежный анализ корреляционных связей и ритмики солнечной активности, атмосферных осадков и других факторов, однако предварительно можно предположить наличие взаимосвязи оползней, колебания уровней подземных вод, атмосферных осадков и солнечной активности. Причем динамика оползневой активности на отдельных отрезках времени прослеживается в противофазе с солнечной.

Количественная оценка роли вариации рассматриваемых факторов в деформации склонов была нами проведена с помощью весовых коэффициентов (α), которые количественно характеризуют степень влияния данного фактора не вообще, а только для конкретного ряда наблюдений.

Весовые коэффициенты (α) выражаются в долях единицы и вычисляются по следующей формуле:

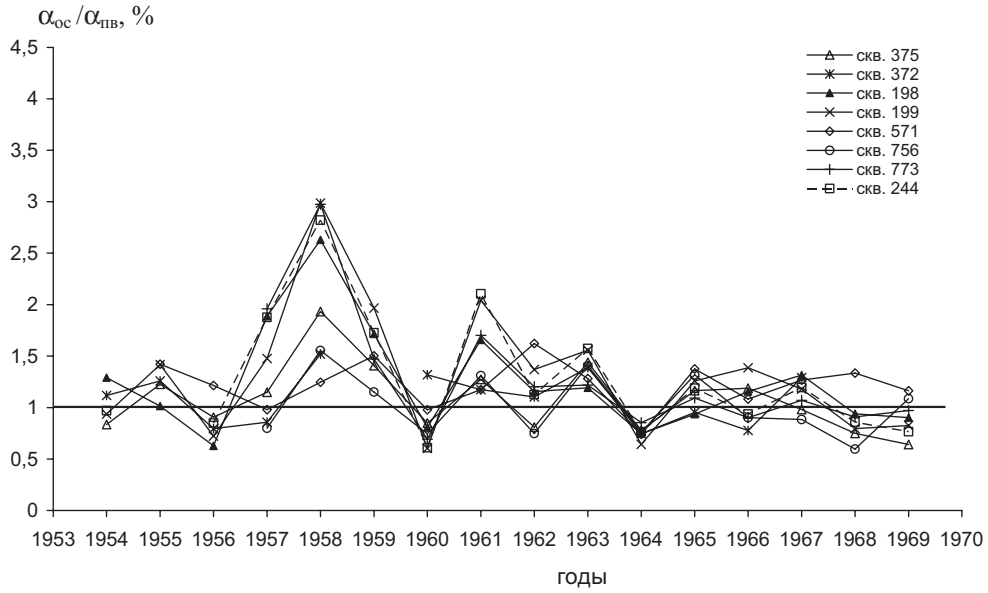
$$\alpha_i = \frac{\sigma_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \right)}, \quad (1)$$

где σ_i^2 — дисперсия значений i -ого фактора, α_i — коэффициент весомости i -того фактора, $0 < \alpha_i \leq 1$. В расчетах сумма α_i принимается за единицу, т. е.

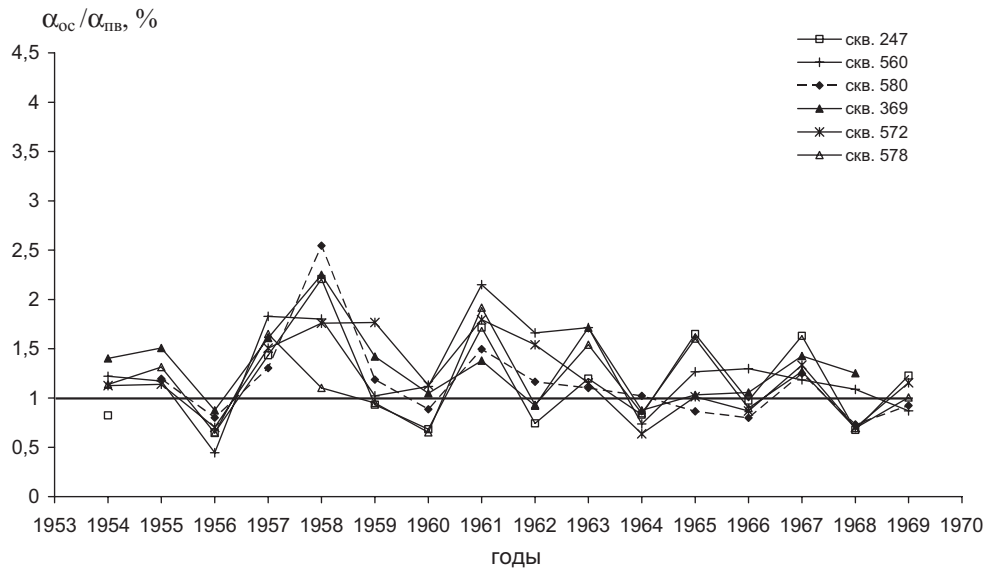
$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \quad (2)$$

В основе формулы (1) находится простой принцип: более влиятельные факторы должны иметь большую дисперсию, т. е. чем больше дисперсия, тем больше вес.

Нами были вычислены весовые коэффициенты для указанных выше факторов за каждый год с 1954 г. по 1969 г. Результаты обработки данных приведены на рисунках 6 и 7.



а)



б)

Рис. 6. Процентное соотношение весов атмосферных осадков и уровня четвертичного водоносного горизонта скважины находятся: а) в зоне влияния дренажных сооружений; б) вне зоны влияния дренажных сооружений

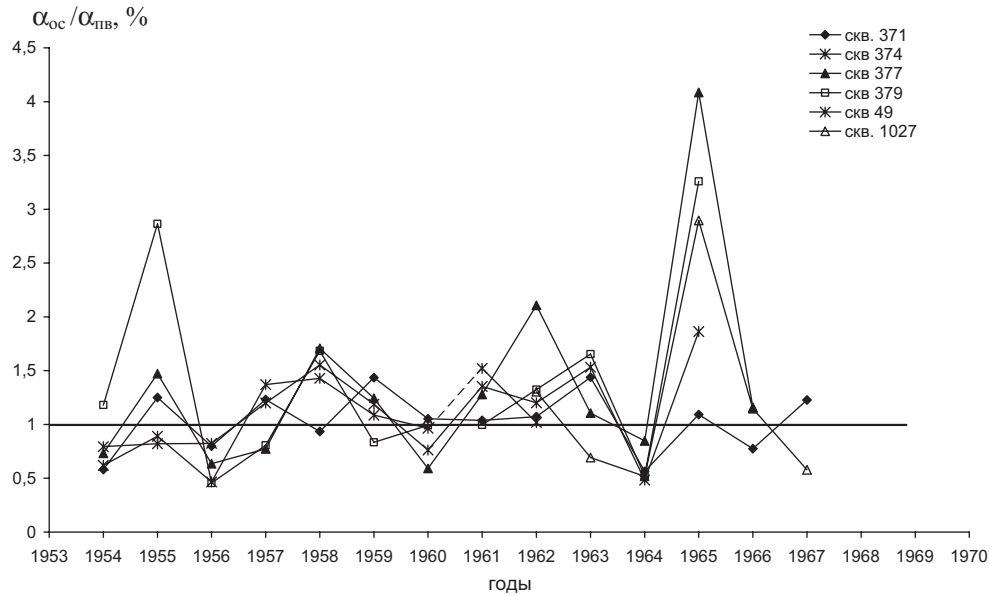


Рис. 7. Процентное соотношение весов атмосферных осадков и уровня понтического водоносного горизонта

Относительное количественное значение отдельных факторов различно не только в разных природных условиях и для разных типов оползней, но даже для одного и того же склона оно может быть различным на разных стадиях его развития. Сказанное демонстрируют рис. 6 и 7, из которых видно, что в разные годы рассматриваемые факторы имеют различную значимость. Например, в 1955, 1958, 1961, 1963 и 1965 годах (рис. 6) однозначно доминирует вес атмосферных осадков, в 1956, 1960, 1964, 1968 годах — вес подземных вод. В некоторые годы оба фактора имеют одинаковый вес (точки на линии $\alpha_{ос}/\alpha_{пв} = 1$ или расположенные ближе к этой линии, рис. 6, 7), что указывает на одинаковый характер варьирования скоростей колебания уровней водоносных горизонтов и изменения количества атмосферных осадков.

Известно [1, 2], что за исследуемый период на изучаемом участке оползни имели место в 1946 г. (участок — гидрометобсерватория), 1953 г. (Лермонтовский санаторий — стадион “Динамо”), 1960 г. (ин-т им. Филатова) и 1963 г. (санаторий им. Чкалова; стадия основного смещения). Сопоставление кривых на рис. 6, 7 с кривыми флуктуации скоростей смещения реперов (рис. 2), показывает, что в возникновении оползня в 1960 году больше повлияли флуктуации уровней подземных вод, а в 1963 г. — аномалии атмосферных осадков.

Таким образом, статистический анализ данных показал высокое совпадение динамики оползней с вариациями скоростей колебания уровней подземных вод, количества атмосферных осадков и солнечной активности. Причем, при использованном типе статистического фильтра около 45 %

дисперсии скоростей склоновых процессов в данном случае определяется флуктуациями колебания уровней подземных вод, 45 % — атмосферных осадков и 10 % определяется солнечной активностью. Это свидетельствует о том, что малые флуктуации такого глобального и мощного фактора как солнечная активность могут порождать большие следствия, которые будут определять направление развития процесса.

Для выявления закономерностей распределения весов рассмотренных факторов в деформации склонов Одесского побережья, что может сыграть важную роль в прогнозировании оползней, необходимо проанализировать больший объем данных по деформации склонов.

Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

— динамика развития оползней Одесского побережья Ланжерон — Аркадия за период с 1954 по 1969 гг. совпадает с флуктуациями скоростей колебания уровней подземных вод и изменения количества атмосферных осадков.

— относительное количественное значение отдельных факторов для одного и того же склона может быть различным на разных стадиях его развития. На изучаемом участке в 1955, 1958, 1961, 1963 и 1965 годах на развитие оползневых процессов больше повлияли флуктуации атмосферных осадков, в 1956, 1960, 1964, 1968 годах — флуктуации подземных вод. В остальные годы вес обоих факторов в деформации склонов почти одинаковый.

Литература

1. Зелинский И. П., Корженевский Б. А., Черкез Е. А. и др. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз. — Киев: Наукова думка, 1972. — 226 с.
2. Зелинский И. П. Теоретические и методические основы моделирования оползней: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. — М., 1979. — 43 с.
3. Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. — М.: Недра, 1972. — 308 с.
4. Емельянова Е. П. Роль климатических факторов в оползневых процессах // Сов. геология. — 1958. — № 9.
5. Шмуратко В. И. Гравитационно-резонансный экзотектогенез. — Одесса: Астропринт, 2001. — 332 с.
6. Черкез Е. А., Драгомирецька О. В., Біч Г. М. Гідрогеомеханічні особливості формування зсувів випору північно-західного узбережжя Чорного моря // Вісник ОНУ, Сер. геогр. та геол. науки. — 2003. — 8, вып. 5. — С. 180-186.
7. Черкез Е. А., Гутковский В. Н., Караван А. И. Анализ морфометрических параметров оползней для оценки естественно-техногенных условий их развития // П Шукинские чтения: Тез. докл. Всесоюз. конф. — М.: Изд-во Моск. ун-та. — 1990. — С. 209–210.

Є. А. Черкез, Д. В. Мелконян

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,
кафедра інженерної геології та гідрогеології,
Шампанський пров., 2, Одеса, 65058, Україна

**ОЦІНКА РОЛІ ФАКТОРІВ ФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ЗСУВІВ
ОДЕСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ**

Резюме

Оцінена роль флуктуації окремих природних чинників — атмосферних опадів і коливання рівня підземних вод — у зсувному процесі на ділянці Одеського узбережжя Ланжерон — Аркадія за період з 1954 по 1969 рр. Флуктуації даних чинників вивчені на фоні варіації сонячної активності.

Виявлені окремі періоди синхронної флуктуації вказаних чинників і швидкостей зсуву реперів у межах зсувного схилу і корінного масиву.

Ключові слова: зсуви, атмосферні опади, підземні води, сонячна активність, флуктуації.

E. A. Cherkez, D. V. Melkonyan

Mechnikov Odessa National University,
Department of Engineering geology and Hydrogeology,
Shampansky per., 2, Odessa, 65058, Ukraine

**VALUATION OF FORMATION AND DEVELOPMENT FACTORS
OF THE ODESSA COAST LANDSLIDE**

Summary

The role of rainfall and groundwater level fluctuations in landslide activation on the Odessa coast Lanzheron — Arkadia over the period 1954-1969 was assessed. Fluctuations of the considered factors are studied against the background of solar activity variation.

The separate periods of synchronous fluctuation of the indicated factors and displacement velocities of benchmarks within the landslide and bedrock limits are revealed.

Key words: landslides, rainfall, groundwater, solar activity, fluctuations.