

<b>Название журнала</b>	<b>ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ</b>				
<b>Издательство</b>	<b>Геомаркетинг</b>				
<b>Год выпуска</b>	<b>2013</b>	<b>Том</b>		<b>Номер выпуска</b>	<b>6</b>



	<b>Название статьи</b>	<b>Страницы</b>	<b>Цит.</b>
	<b>КОЛОНКА М.И. БОГДАНОВА</b>	<b>4-5</b>	<b>0</b>
<b>ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ</b>			
	<b>ПО СТРАНИЦАМ ВОЕННОЙ БИОГРАФИИ АКАДЕМИКА Е.М. СЕРГЕЕВА (1914-1997)</b> <b>Шибаква В.С.</b>	<b>8-14</b>	<b>0</b>
	<b>ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ОЦЕНКУ РОЛИ И СООТНОШЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ЗОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ</b> <b>Трофимов В.Т., Красилова Н.С.</b>	<b>16-26</b>	<b>2</b>
<b>ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА</b>			
	<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И КОНСТРУКЦИЙ КРЕПИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЯ НА УЧАСТКЕ СЕВЕРОКАВКАЗСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ СОЧИ — АДЛЕР</b> <b>Басов А.Д., Романевич К.В.</b>	<b>28-37</b>	<b>1</b>
	<b>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ</b> <b>Ушаков А.С.</b>	<b>38-45</b>	<b>0</b>
	<b>ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b> <b>Гаврилов А.В.</b>	<b>46-55</b>	<b>1</b>
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ</b>			
	<b>НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ИХ СИСТЕМАТИЗАЦИЯ</b> <b>Буслаева О.В., Королев В.А.</b>	<b>56-62</b>	<b>0</b>
	<b>ЭКСПЕРТНЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНОВ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДОЧНЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД</b> <b>Косинова И.И., Базарский О.В., Заридзе М.Г.</b>	<b>64-69</b>	<b>0</b>



# ФРАНЦУЗСКИЙ КВАРТАЛ, «РАДИО ДЖАЗ» И СТОМАТОЛОГ

даже крокодилами, созданная чернокожими невольниками работающими на плантациях, является еще одной достопримечательностью города. Известны колесные пароходы, плавающие по Миссисипи. Известны университеты Тулейн и иезуитский Лойола. Каждый год в Новом Орлеане проходит фестиваль Марди-Гра — это несколько дней загулов и веселья.

История разрушения города ураганом «Катрина» в 2005 году добавила еще одну страничку в историю Нового Орлеана. Это была самая дорогая в истории человечества ошибка геотехников — стоимость ошибки около 20 миллиардов долларов. 80% территории города было затоплено, тысячи людей погибли, разрушены дома и инженерная инфраструктура. Город был во власти бандитов и мародеров, которые убивали, грабили и насиловали. Одной из основных причин этой ужасающей катастрофы были ошибки изыскателей и проектировщиков — каналы на слабых грунтах были запроектированы неверно, фактические нагрузки на стены каналов превышали расчетные, мониторинг каналов не велся. Уже после катастрофы наши коллеги из Италии, восстанавливая историю деформаций стенок каналов по материалам спутниковой радарной съемки выяснили, что к моменту прорыва стенки каналов были примерно на метр ниже проектных отметок. На метр! Но никто не проводил геодезические наблюдения, которые позволили бы это выявить...

Но основной достопримечательностью Нового Орлеана, без сомнений, является Французский квартал, особенно Бурбон-стрит. Эта

В Америке есть немало колоритных городков и городов. Иногда в самой глубинке, проезжая через, казалось бы, всеми забытое место, можно случайно увидеть нечто необычное. Так, как-то в таком полузабытом городке на юге штата Колорадо мне рассказали, что в конце XIX века, когда в этих местах был подъем горнодобывающей промышленности, многие жители в подвалах своих домов устраивали бассейны. Сегодня бассейн в подвале не кажется необыкновенным, но более ста лет назад...

Есть более широко известные достопримечательности. У города Нового Орлеана в штате Луизиана их даже несколько. Знаменитое место поедания пончиков кафе «Дюмонд», не всегда упоминаемое в списке достопримечательностей города, находится, на мой взгляд, на одном из первых мест. Известен Новый Орлеан креольской кухней — острая еда, чаще всего с рисом и морепродуктами, иногда



часть города, построенная до того, как французы продали его американцам, сохраняет удивительный колорит и своеобразие. Квартал, ни похожий ни на одно другое место в Америке. Это почти Европа. Но в Европе не найти подобного места, потому что Французский квартал совершенно американизировался, оставаясь самобытным. Это не Европа. Америка. Тут видна интереснейшая смесь культур, объединенных историей Французского квартала.

Говоря о Новом Орлеане нельзя не вспомнить, что Америка это мировая родина джаза. Новый Орлеан, в свою очередь, это родина джаза в Америке. Французский квартал — родина джаза в Новом Орлеане. Достаточно назвать имя всего лишь одного великого музыканта из Нового Орлеана — Луи Армстронга. В городе родились сотни джазовых музыкантов.

...мне нравится джаз. Хороший джаз удивительно эмоционально воздействует на слушателя. В Москве джаз можно послушать не только в джазовых клубах и на концертах. В Москве работает радиостанция «Радио Джаз», которая доносит до своих слушателей его полные эмоций звуки. Я редко слушаю джаз, но несомненно получаю от этой музыки удовольствие. Об этом я думал, сидя в кресле у стоматолога. Обезболивающий укол был сделан. Ожидание того момента, когда обезболивание начнет действовать. На окне стоял радиоприемник. «Радио Джаз». В кабинете раздавались негромкие звуки джаза...

Оставалось несколько минут до начала медицинских манипуляций, и стоматолог, пока что, рассказывала мне про свой профессиональный путь. Как она, уже будучи студентом-стоматологом, договорилась с подружкой студенткой о том, что, прежде чем лечить кого-либо еще, каждая высверлит и запломбирует больной зуб подружке. Как страшно было первый раз пользоваться бормашиной. Как после окончания института, когда они получили дипломы врачей, им пришлось поступать в ординатуру, чтобы получить **сертификат специалиста**, который и дал им право самостоятельно заниматься медицинской деятельностью. Еще два года после получения диплома врача, что-

бы получить право самостоятельно лечить больных. Затем каждые пять лет надо повышать квалификацию, чтобы подтвердить свой **сертификат специалиста**, которым врачи очень дорожат.

Эта схема допуска в профессию, через процедуру выдачи **сертификата специалиста**, работает. Работает лучше или хуже. Иногда не работает. Чаще работает. Но ситуация у врачей все же лучше, чем у изыскателей, у которых только сейчас началось активное вступление в «Союз изыскателей», который и должен выдавать **сертификат специалиста**.

Обезболивание начало действовать. Врач взял в руки бормашину. Звучал джаз. Стоматологи справляются лучше с организацией своего профессионального сообщества, чем изыскатели. Я подумал о призыве «Все в «Союз изыскателей»! В ряды профессионалов. Под звуки «Радио Джаз»...

*М.И. Богданов*



# ПО СТРАНИЦАМ ВОЕННОЙ БИОГРАФИИ АКАДЕМИКА Е.М. СЕРГЕЕВА (1914–1997)

## THROUGH THE PAGES OF ACADEMICIAN E.M. SERGEEV'S (1914–1997) MILITARY BIOGRAPHY

### ШИБАКОВА В.С.

Старший научный сотрудник Геологического  
института РАН, к.г.-м.н., г. Москва,  
valentina-shibakova@yandex.ru

#### Ключевые слова:

академик Е.М. Сергеев; военная биография.

### Аннотация

Статья посвящена страницам военной биографии академика **Евгения Михайловича Сергеева (1914–1997)** — крупнейшего ученого, педагога и организатора науки в области инженерной геологии, о котором **В.С. Шибакова** неоднократно писала в своих публикациях ранее.

### Abstract

The article is devoted to some pages of academician **Evgeniy Mikhailovich Sergeev's (1914–1997)** military biography. He was an outstanding scientist, educator and science organizer in the field of engineering geology. **V.S. Shibakova** has repeatedly written about him in her publications before.

### SHIBAKOVA V.S.

Senior staff scientist of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Moscow, valentina-shibakova@yandex.ru

#### Key words:

academician E.M. Sergeev; military biography.

Евгений Михайлович Сергеев известен нам как выдающийся ученый в области инженерной геологии, оставивший после себя богатое научное наследие и научную школу и имевший большой авторитет в международных кругах. Мне хотелось бы приоткрыть для современного поколения инженеров-геологов другую сторону его биографии, связанную с его участием в Великой Отечественной войне.

Как дорогой подарок хранятся у меня военные воспоминания Е.М. Сергеева с его дарственными надписями — книга «За строкой фронтового письма» и



Рис. 1. Евгений Михайлович Сергеев в апреле 1943 г. (снимок предоставлен Н.М. Сергеевой)



статья «Так было в начале войны». К этим работам я неоднократно обращалась раньше, и сейчас, в преддверии столетия со дня рождения Евгения Михайловича, вновь перечитывая их, я четко осознаю, что особенности личности этого замечательного человека связаны с его военным прошлым и военным опытом. Все работавшие с Е.М. Сергеевым отмечают его незаурядный характер и способность вычленять главное, принимать единственно правильные решения в критических ситуациях, руководить большими коллективами и видеть при этом каждого человека в отдельности, оценивая его реальные возможности.

В этой статье я изложу отдельные страницы военной биографии Е.М. Сергеева, используя фрагменты из его работы «Так было в начале войны».

Евгений Михайлович был единственным сыном в семье московского профессора и не имел специального военного образования. Он провел на войне более двух лет, которые совпали по времени с отступлением нашей армии. Меня поражает, как он мог в тяжелой обстановке не поддаваться страху, сохранять ясность сознания, стойкость характера, заботу о людях и ответственность за них.

Е.М. Сергеев ушел на фронт 29 июня 1941 г., несмотря на то что, будучи секретарем парткома МГУ и имея бронь, он мог оставаться в Москве. Два месяца он пробыл в резерве Юго-Западного направления под Киевом, где происходило распределение новобранцев по частям. Он получил предложение от комиссара воспользоваться направлением на учебу в Военно-политическую академию: «Получите высшее военное образование, а потом будете воевать». «Нет, товарищ комиссар, я Вас очень прошу направить меня на фронт», — был ответ.

Е.М. Сергеев был направлен в распоряжение штаба 38-й армии, а затем в 617-й стрелковый полк 199-й стрелковой дивизии как командир роты. Он прибыл на передовой рубеж в районе села Пригородка. После непродолжительной беседы командир полка капитан Гриднев сказал: «Вот что, товарищ младший лейтенант, роту я Вам дам, но не сейчас. Несколько дней будете при мне для отдельных поручений. Попривыкнете, а к тому времени к нам маршевая рота подойдет. Ждем ее днями». На следующий день Гриднев приказал Сергееву сопровождать его при обходе переднего края. «Погода стояла солнечная, — вспоминал Евгений Михайлович, — немцы прекратили обстрел Пригородки, и как-то не верилось, что мы идем на передний край обороны. А когда дошли, то он, долгожданный, меня просто разочаровал. Вместо представляемых ходов сообщений, окопов в полный рост, дзотов и прочих фортификационных сооружений, о которых нам говорили на тактических занятиях в университете и в лагерях во время сборов, я увидел наспех отрытые вдоль деревенской околицы мелкие, по пояс, окопчики. Перед ними проходила проселочная дорога, а за ней стеной стояла высокая перезревшая пшеница. Обзора почти не было. Только поднявшись из окопа на бруствер и встав в полный рост, можно было разглядеть метрах в трехстах впереди два подбитых немецких танка, а за ними деревеньку, выходящую в нашу сторону садами. “Там немцы!” — коротко бросил Гриднев... Поколебавшись, я все же сказал Гридневу, что по пшеничному полю

гитлеровцы смогут скрытно подползти к нашей передовой и одним коротким броском оказаться в окопах. Внес я и предложение: воспользоваться тем, что ветер дует в сторону противника, и поджечь пшеницу вдоль всего занимаемого полком участка. “Верно, — согласился капитан. — Только отдать такой приказ смогу, лишь согласовав его со штабом дивизии: там должны знать причину пожара. Свяжусь со штабом дивизии немедленно, после того как осмотрим позицию противотанковой батареи”. В это время начался минометный обстрел — немцы били прямо по батарее». Наших офицеров спасли узкие и глубокие щели. Потом враг перенес огонь в глубину наших позиций, и тут же послышался треск автоматов. Евгений Михайлович инстинктивно зафиксировал время — было ровно 12 часов 13 сентября 1941 года. Далее Е.М. Сергеев вспоминал: «Выскочив первым из щели, Гриднев крикнул командиру батареи: “Отражать вражескую атаку!”. И, обращаясь уже ко мне и адъютанту, добавил: “Бегом на КП!” Добежав до своего командного пункта, Гриднев по телефону коротко доложил обстановку, выслушал указания и, положив трубку, объявил: “Приказано отходить в общем направлении на станцию Кобеляки, сдерживая всеми средствами продвижение врага и нанося ему максимальный урон”. Полк начал отход, когда враг вошел в Пригородку. Я старался держаться рядом с капитаном. Остаток дня и всю ночь шли мы в направлении на железнодорожную станцию Кобеляки. Временами попадали под обстрел немецких минометов. А к утру выяснилось, что части перемешались: в рядах нашего 617-го СП оказалось немало воинов из других частей. И наоборот, ряд подразделений 617-го СП находился неизвестно где. Только к обеду следующего дня подошли к станции Кобеляки... Мне было приказано с группой разведчиков выяснить, есть ли противник на станции... Узнав обстановку, Гриднев собрал свободный командный состав, каждому определил маршрут и поставил задачу: собирать встречных бойцов, командиров, отдельные группы, формировать из них команды и сосредоточивать на сборном пункте в колхозном саду севернее станции, куда подойдут и походные кухни. К пункту сбора я пришел во главе доброй сотни бойцов и младших командиров, “найденных” по дороге и сведенных в отряд. Здесь нас уже ждали кухни, и после сытного горячего обеда настроение у всех несколько поднялось... Разведка фашистов подошла к нам вплотную, и откуда-то из гуази деревьев полетели в нашу сторону световые ракеты, указывая, где окопались бойцы. И вслед за ними минометы открыли беглый огонь. Гридневу ничего не оставалось делать, кроме как командовать строю: “Рассыпаться, отходить к поселку!”». Враг вел минометный обстрел, во время которого полк понес большие потери. Капитан Гриднев тоже был убит. Е.М. Сергеев писал об этом моменте: «На душе было тяжело. Не успел я как следует познакомиться с первым своим фронтовым командиром, а его уже не стало. Всего три дня я находился рядом с капитаном Гридневым, но проникся к нему чувством уважения за храбрость и благодарностью за внимание ко мне, еще не обстрелянному... Полку была поставлена новая задача: переправиться через р. Ворсклу (мост был), подняться на ее высокий берег и перекрыть под-

ступы к Новым Санжарам с запада... Мы должны были дать возможность штабу 38-й армии успеть передислоцироваться в другое место, не попасть в руки к немцам. Наш рубеж обороны представлял собой пшеничное поле, частично заскородованное... Одновременно с нами появились и фашисты. Начался ближний бой. До сих пор удивляюсь, как я остался жив и даже сумел застрелить немецкого ефрейтора, снять с него автомат "Шмайсер" и взять документы. Продержались мы до вечера, когда наши самолеты уже бомбили Новые Санжары, куда давно вошли танки и другие фашистские войска...».

Они оказались отрезанными от своих частей, но держали рубеж до получения приказа отходить и выходить на дорогу Новые Санжары — Полтава. При этом был большой риск наткнуться на фашистов. «Обсуждали ситуацию, рассматривали карту при свете свечки... — писал Е.М. Сергеев в своих воспоминаниях далее. — Я вмешался: "Командир, пойдем через Новые Санжары (занятые немцами. — Авт.), но только вдоль реки, а может быть, где и по реке — к ней ведь только огороды выходят, ни одного дома близко нет. Если мост не охраняется, пройдем под ним, а там и дорога на Полтаву недалеко". "А ты откуда знаешь? Местный, что ли?" "Да нет, отдыхал здесь в двадцать восьмом году. Это родители словно бы угадали, что мне тут воевать придется". "А, ну тогда давай показывай дорогу"... Память меня не подвела. Огородами без помех добрались до моста. Чтобы не подниматься на насыпь, тихо прошли под ним по колено в воде. Наконец вышли на Полтавскую дорогу. Но тут вышло неожиданное препятствие — путь преградил глубокий с отвесными стенками ров. Без каких-либо подручных средств его было не преодолеть, тем более раненым. Помог случай. Послали красноармейцев вдоль рва. Один из них вернулся и доложил, что рассмотрел перекинутые через ров широкие доски. По ним и перебрались. Так мы ушли из Новых Санжар, но в памяти они остались на всю жизнь. Пройдя несколько километров, мы были остановлены боевым охранением кавалерийской части. Убедившись в том, что мы действительно те, за кого себя выдаем, командир боевого охранения, старший лейтенант по званию, сказал: "Займите наши позиции и будете их оборонять. А наша часть переходит на другой рубеж". "Так ведь нас, не считая раненых, меньше полусотни человек". "Ничего, ваши уже частично там, вот их вы и пополните. Таков приказ командира дивизии". Старший лейтенант дал распоряжение о выдаче нам сухого пайка, успокоил, сказав, что окопы уже отрыты и копать ничего не придется, принял у нас раненых для отправки в тыл, дал сопровождающего, и мы попрощались. Утром 17 сентября раздались крики: "Танки! Танки!" 18–20 танков развернутым строем не спеша выкатились прямо на наши окопы. Было нас порядка 150 человек, а главное, практически не было у нас средств борьбы с этими ползущими стальными коробками. Сдали нервы, и мы стали стрелять обычными пулями в надежде, что одна из них попадет в смотровую щель. Плохое было чувство — чувство полной беспомощности. К тому времени я уже не раз слышал слово "танкобоязнь", произносимое с ироническим оттенком. Но ирония уместна

лишь в тех случаях, когда у людей есть хоть какие-то средства для борьбы с танками... Думаю, что, если бы у нас тогда были противотанковые ружья, бутылки с горючей смесью КС или хотя бы с бензином, противотанковые гранаты или хотя бы связки ручных РГД, мы бы не оставили рубеж, несмотря на то что оборудован он был слабо — одни лишь неглубокие ямки. И, признаюсь, я вздохнул с облегчением, когда услышал команду: "Прекратить огонь, отходить на Полтавскую дорогу! Сбор у следующего оборонительного рубежа!" Но стоило нам выскочить из окопов, как танки прибавили скорость, а от них по чистому полю не уйдешь. И тут раздались два мощных взрыва, потом еще один. Это сработали противотанковые мины, поставленные здесь нашими саперами. Я увидел, как танки, будто по команде, остановились перед рубежом, который только что мы занимали. Некоторые даже попятнулись назад. Три задымились. Это и дало нам возможность оторваться от них. Но, увы, ненадолго. Опять взрели моторы, несколько танков двинулось в сторону, обходя минное поле. Пришлось нам тоже ускорить шаг и даже перейти на бег... И тут произошло то, о чем никогда не смогу забыть. Мимо меня пронеслось что-то, похожее на огненную струю, и пронзило насквозь бежавшего рядом бойца. От прямого попадания броневой снаряды он мгновенно превратился в бесформенный комок. Наше счастье, что у немецких танков были, по-видимому, израсходованы другие боеприпасы, да и горючего, наверное, было немного... Наконец достигли очередного оборонительного рубежа. Окопы полного профиля перекрывали дорогу на Полтаву. В окопах оказались бойцы — на глаз, человек 40. Спросил, из какой они части. Несколько человек назвали номер нашего полка, остальные — номера каких-то незнакомых частей. Тут же выяснилось, что среди них — ни одного командира. Пришлось брать руководство на себя: "Внимание! Слушать мою команду! Вы — бойцы 617-го стрелкового полка. Я — ваш командир". Подошел молодой политрук, доложил, что он пропагандист из нашей части. "Слушай, — говорю ему, — поскольку я принял командование, оставайся со мной, будем вместе воевать". "Чем же мы будем командовать — ведь не полк же здесь, в самом деле. Хорошо, если взвод наберется". "Ну, назовемся пока отрядом, а там видно будет". Так из младшего лейтенанта, исполнявшего, по существу, функции простого бойца, я впервые превратился в командира взвода, а в тех условиях, может быть, и роты. Впервые пришло настоящее чувство ответственности за людей, которым я заявил, что я их командир. День 17 сентября оказался не менее тяжелым, чем предыдущий. Помимо того что я рассказал, могу добавить, что 2–3 часа мы удерживали этот рубеж от фашистов и на это время, пусть небольшое, задержали продвижение немцев на Полтаву. Потом фашистские танки и пехота появились у нас в тылу. Создалась угроза окружения, и нам срочно пришлось отходить на восток, пока еще в ту сторону путь был свободен. В районе села Великий Тростянец мы вышли навстречу новому полку, перед которым была поставлена задача остановить продвижение фашистов. Командир части — капитан в лихо заломленной набок кубанке — выслушав меня, сказал



вначале, что готов включить отряд в полк и даже назначить участок обороны. Потом, однако, добавил, что нас не сможет кормить, так как дополнительными фондами не располагает. Это резко меняло положение. Посмотрев на изможденные лица бойцов отряда, давно не получавших горячей пищи, я сказал командиру, что оставляю с подчиненными младшего политрука, а сам пойду искать свой полк: надо ставить на довольствие людей. “Смотри, — напутствовал он меня, — как бы не приняли тебя за дезертира”. Я и сам это подумал, но другого выхода не видел. Взял с собой двоих красноармейцев и отправился на поиски. Южнее Полтавы мы переправились по пешеходному мостику через Ворсклу. Предъявили документы, пораспрашивали, не знают ли, где находится штаб 199-й стрелковой дивизии. И нашли-таки! Трудно передать, какую радость я испытал, направляясь по указанию одного из командиров к начальнику штаба дивизии. В небольшой комнате меня встретил коренастый плотный полковник. Представился ему, доложил о том, чему был свидетелем в последние дни. И в ответ — совершенно неожиданное: “Значит, вы были в окружении? В особом отделе дадите объяснения”. “Товарищ полковник, не были мы в окружении. В последнем бою враг обошел нас с тыла, вот и пришлось оставить рубеж. Все бойцы выведены из боя без потерь, находятся сейчас на переднем крае с другим полком, но их не ставят на довольствие. Что-то надо делать. Для этого я к Вам и пришел”. “В этом и разберется особый отдел”. “В чем должен разбираться особый отдел?” — раздался голос, и в комнату вошел худощавый комбриг. Я знал, что дивизией командует комбриг Аверин. Никогда его раньше не видел, но сразу подумал, что это он и есть. Стараясь не волноваться, я доложил обо всех событиях, начиная с боя у станции Кобеляки. Комбриг слушал меня внимательно, пристально смотрел в глаза. Когда я закончил рассказ, он обратился к полковнику: “Ты что же, думаешь, ему немцы и свой автомат вручили, чтобы выделялся среди наших? Что-то я такого не припомню. Словом, оставить особый отдел! А Вы, товарищ младший лейтенант, покажите на карте, где сейчас Ваша группа. Так, понятно. А вот здесь, — отчеркнул он ногтем село Никольское, — штаб вашего полка. Теперь в нем новый командир — майор Карапетян. Явитесь к нему и доложите, что к вечеру прибудет группа бойцов во главе с младшим политруком. Начальник штаба, пошлите две автомашины для доставки этих людей в 617-й полк”. Как я был благодарен комбригу Аверину! Такой груз он снял с моих плеч! На его одобрителное “можете идти” ответил: “Есть!” Козырнул, вышел из дома и зашагал с легким сердцем в Никольское. Второй раз я встретился с комбригом Авериним через несколько дней, когда наша дивизия и ряд других войск выходили из окружения, попав в него восточнее Полтавы. Для меня это было особенно тяжело, так как за четыре дня до этого я был контужен разорвавшейся миной при разведке одного железнодорожного разъезда. Контузия была легкая, выразившаяся в потере слуха и общей слабости. Через несколько дней слух восстановился, но звон в ухе (травматический неврит) остался на всю жизнь. Первые слова, которые я услышал: “Мы в окружении”. Тут же забрал свое оружие

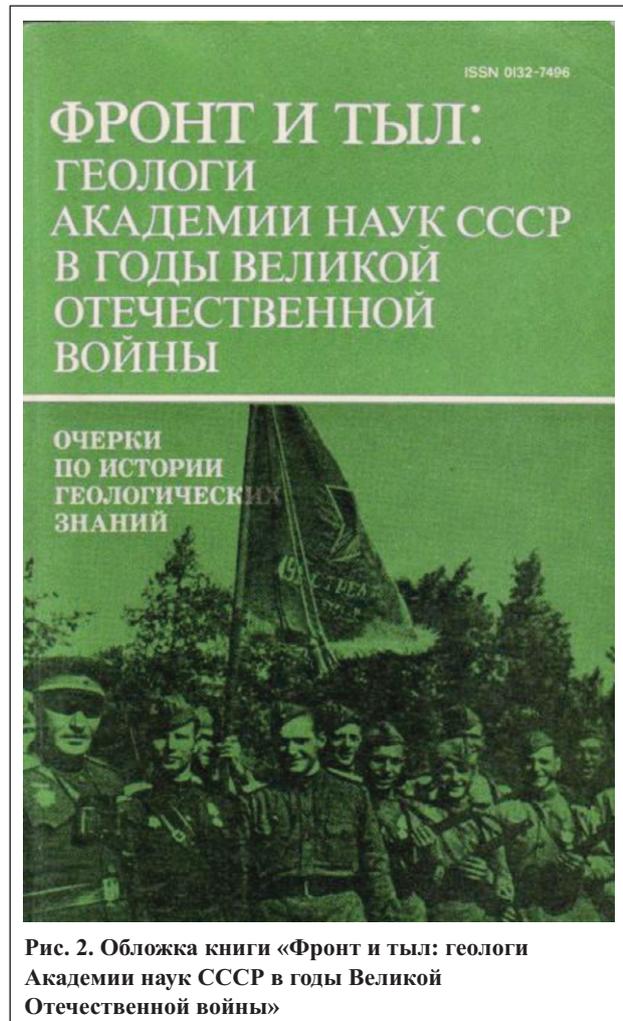


Рис. 2. Обложка книги «Фронт и тыл: геологи Академии наук СССР в годы Великой Отечественной войны»

и вещи и ушел из медсанбата в свой полк. В ночь на 26 сентября стали выходить из окружения. Головным был наш полк. Впереди колонны полка шел командир дивизии со своими штабными командирами. Странное и тяжелое было чувство. Лунная ночь. Все хорошо видно. По сторонам дороги — украинские мазанки. Некоторые из них оказались повреждены, а иные разрушены. На покрытых побелкой стенах — тех, что располагались вблизи дороги, — отчетливо виднелись нарисованные красной и черной красками стрелы, номера, знаки, надписи на немецком языке. Разведка и боевое охранение сбились с дороги. Это привело к тому, что наша колонна вышла прямо в расположение гитлеровцев. Их часовой расположился на скирде соломы и, по всей вероятности, спал. Когда же он проснулся, то мы были от него так близко, что хорошо видели, как он ползет без оружия по скирде на четвереньках. Мы услышали его истошные вопли. Чуть ли не в упор ударил крупнокалиберный пулемет, но цветастые трассирующие пули от первой очереди пролетели над головой. Похоже, что фашистов мы застали врасплох. Но вот уже застучали автоматы, раздалась винтовочные выстрелы. Некоторые из шедших впереди попадали, кое-кто бросился назад. И тут прозвучал уверенный голос комбрига Аверина: “Стойте! Позади смерть! Товарищи, только вперед! Бейте фашистов! За мной!” Бойцы бросились вперед, стреляя на ходу. Покатилось дружное “ура”. Вот это командир! Оборона у немцев была прорвана, и войска оказались на территории, занятой противником. Начались новые



бои уже небольшими группами... Только вечером 27 сентября... группа, которой мне довелось командовать, при выходе из окружения, достигла районного центра Максимовка, где собирался 617-й СП. В боях при выходе из окружения наш полк понес большие потери. Не вышли из окружения комиссар Бондаренко и помощники начальника штаба полка (а их, если не ошибаюсь, полагалось четыре). Новый командир полка майор Карапетян назначил меня первым помощником начальника штаба 617-го СП. А еще и месяц не прошел, как я прибыл в полк. Дело не в моих личных качествах. Выбор был невелик — погибло много командиров. В тот же вечер наш полк наскоро пополнили, придали ему двухорудийную батарею 76-мм пушек, посадили всех на машины и отправили в район северо-восточнее Полтавы, где на протяжении 18 км фронт был открыт. Примерно 300 бойцов, да еще по дороге к нам влилось 18 эвакуированных милиционеров — вот и все наши силы на 18 км. Штаб расположился в Милорадово. В первых числах октября начались бои. Силы были несопоставимы — в пользу фашистов. Но мы «огрызались». Прекрасным командиром оказался командир двухпушечной батареи Мищенко. Храбрость в нем сочеталась с расчетливостью и большим умением. Позднее он был награжден орденом Ленина. Против нас наступала 29-я механизированная дивизия (мд) немцев с танками, мотоциклетными подразделениями и артиллерией. Тактика наша была такая. С утра мы ждали наступления фашистов. Выдвигали вперед пушки, за ночь отрывали окопы, сосредоточивали в них большинство огневых средств и старались нанести как можно больше урона противнику. Так было в селах Милорадово, Великая Рублевка, Колонтаево. А когда появлялись танки (противотанковых средств борьбы у нас по-прежнему не было — лишь две 76-мм пушки Мищенко...), мы отскакивали до следующего оборонительного рубежа на автомашинах и лошадях. И сразу же принимались рыть окопы, ходы сообщения, «вгрызаться в землю», зная заранее, что и этот рубеж мы вскоре должны будем оставить. Впрочем, с Колонтаево мы удерживали несколько дней. Сюда прибыл вновь укомплектованный 617-й СП. Все подразделения, полагающиеся стрелковому полку, были налицо: помимо стрелковых рот — пулеметные роты, минометные и артиллерийские батареи. Все было — не было только материальной части. Независимо от того, как называлось подразделение, все бойцы и многие командиры были вооружены только винтовками, даже не всегда исправными... Поэтому, когда враг вновь перешел к активным наступательным действиям, 617-й СП вновь вынужден был отступать, неся еще большие потери, чем до получения пополнения. Против нас действовали 239-я и 294-я немецкие пехотные дивизии, поддерживаемые большим количеством танков. Под их натиском полк отошел на Краснокутск и далее на Богодухов. По-видимому, из Богодухова я отправил родителям солдатский треугольник, датированный 9 октября. Письмо было лаконичным: «Мои дорогие! С 13 сентября не выхожу из боев, но жив и здоров. Писать мне пока некуда. Как только появится устойчивый адрес, сообщу. Напишите Шуре, что соскучился по ней и дочурке. Целую всех крепко. Женя»... 16 октября была предпринята попытка вы-

бить фашистов из города. Несмотря на то что в наступлении участвовал кавалерийский корпус Белова, вернуть Богодухов не удалось. При этом потери в нашем полку были значительные. В тот же день в 21.00 по распоряжению штаба 38-й армии полк передал свой оборонительный рубеж на восточной окраине Богодухова подошедшему полку НКВД и погрузился в присланные автомашины, которые должны были доставить нас на западную окраину Харькова. В распоряжении указывалось, что полк переходит в резерв штаба 38-й армии. Тридцать три дня и тридцать три ночи полк находился в боях, в них таяли поступившие пополнения. Поэтому присланные за нами автомашины шли далеко незагруженными. Следующей ночью мы прошли через обреченный на сдачу Харьков. Во изменение первого распоряжения остановились на отдых уже восточнее Харькова в районном центре Печенеги. В ноябре 1941 г. полк в составе 199-й дивизии под командованием комдива Давыдова осуществлял наступление в районе райцентра Шевченково. Ночью в километре от Шевченково нас догнал верховой посыльный и передал Карапетяну пакет. Тот вскрыл его и при свете фонарика прочитал: «Свой приказ о действиях в Шевченково отменяю. Полку принять участие в общем наступлении на Шевченково в 5 часов по сигналу: три красные ракеты. Задача — наступать правее железной дороги, овладеть элеватором. Комдив 199-й Давыдов». В 5 часов утра подразделения полка при поддержке артиллерии пошли в атаку. Вскоре, почти не встретив сопротивления, они вышли к элеватору, где отбивалась попавшая в окружение группа автоматчиков. Все они были уничтожены. В нашем полку в этом бою больших потерь не было — получили ранение лишь несколько человек».

31 января 1942 года Е.М. Сергеев получил первый в своей жизни орден — орден Красной Звезды. «Вручали нам, бойцам и командирам 617-го СП, ордена и медали в штабе дивизии, — вспоминал он. — Для этого сюда специально приехал член военного совета 38-й армии бригадный комиссар В.М. Лайок... Выступал спокойно, говорил проникновенно, искренне, для каждого награжденного находил теплые слова. Мне он сказал примерно следующее: «Поздравляю с высокой наградой. Особенно рад, что вручаю орден не младшему, как сказано в приказе, а уже старшему лейтенанту. Желаю дальнейших боевых успехов». Запомнилось краткое выступление полковника Давыдова, который подчеркнул, что мы теперь не просто бойцы, командиры и политработники Красной Армии, но еще и орденоносцы. А орден... обязывает быть примером для всех, кто воюет в рядах Красной Армии против гитлеровского фашизма. Награжденные отметили, конечно, в полку. По этому поводу устроили концерт самодеятельности. Оказалось, что Сироткин прекрасно играл не только на пианино, но и на баяне. Под его аккомпанемент, лихо приплясывая, пела звонким голосом частушки одна из наших радисток — Марина Фаустова. В середине февраля 1942 г. меня вызвали в штаб дивизии и приказали немедленно ехать в штаб 38-й армии. Приехал в отдел кадров штаба армии и сразу получил нахлобучку: «Где Вы пропали? Эшелон отходит через два часа. Вы направляетесь в Воронеж в учебный центр Юго-



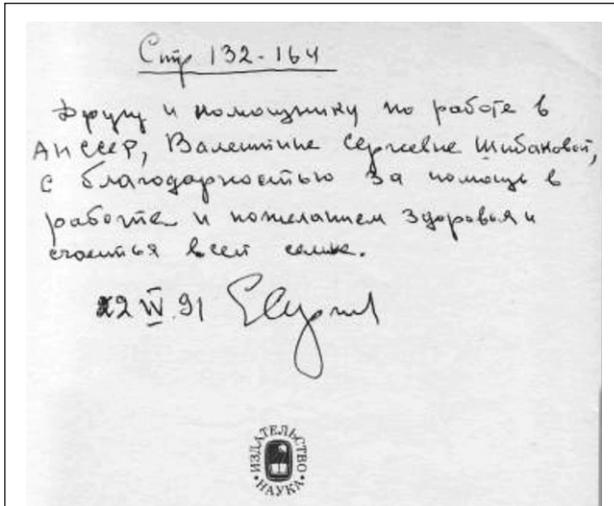
Западного фронта. Будете там учиться на начальника штаба полка". Получил документы, написал коротенькую записку Сироткину и передал ее ординарцу. Доехали мы с ним до железнодорожной станции г. Купянска, разыскали эшелон, идущий на Воронеж, а в нем — теплушку для комсостава. Вернулся я к себе в дивизию 29 мая, но, к сожалению, не в свой родной полк, а для службы в самом штабе дивизии в должности помощника оперативного отделения. Полковника В.В. Давыдова я уже не застал в живых — он погиб 8 марта 1942 г. В июне — июле 1942 г. мне пришлось опять пережить горечь отступления. Но оно было другим по сравнению с 1941 г. Не было, или, точнее сказать, было очень мало каких-то подразделений, групп, блуждавших, не зная, где немцы, где свои, что надо делать. Почти не было панических слухов, хотя фашисты делали многое для того, чтобы они появились. Как правило, от рубежа на другой рубеж обороны отходили по приказанию вышестоящего командира и часто без соприкосновения с противником. Немцы намеревались войти в тыл оборонительного рубежа. Их танки выполнили поставленную задачу — «окружили», а оказывается, окружили пустую территорию, а оборонительный рубеж, где действительно находились наши войска, был расположен уже восточнее. Танковые клинья фашистов при активной поддержке авиации разрезали наши армии, дивизии и даже полки. И, несмотря на это, отдельные части, подразделения упорно пробивались на юго-восток к Дону. Естественно, что все опасались боев в окружении, но не было перед ним такого страха, как в 1941 г. Колонны немцев наступали, придерживаясь больших дорог, расстояние между которыми обычно было несколько десятков километров. Встречались такие наши подразделения, которые двигались в «промежутках» между немцами и в ночное время серьезно их беспокоили... До железнодорожной станции Чертково 199-я СД отходила организованно. В арьергарде находился 617-й СП, командиром которого стал П.И. Сироткин. В районе Чертково танки противника нанесли удар по дивизии с севера и востока. Дальнейший отход стал возможен только отдельными полками и отрядами. Я был в составе отряда, который возглавлял наш дивизионный инженер — подполковник, фамилию которого я, к сожалению, сейчас не помню. Было у нас несколько десятков бойцов и три автомашины, обеспеченные горючим. Наш отряд был одним из тех, кто двигался между немецкими колоннами. Иногда возникала очень острая обстановка, но в конце концов мы приехали на Нижнечирскую переправу с пленными и документами убитых фашистов. Полки и подразделения 199-й СД переправлялись через Дон в самых различных местах от Калача до Новочеркасска. Командование и часть штаба дивизии находились севернее Сталинграда в г. Фролово. Здесь и был получен приказ о расформировании дивизии... Бойцы и командиры были срочно необходимы для пополнения частей 62-й армии, которая за Доном вела бои с противником. Меня направили в разведотдел штаба 1-й танковой армии, который через несколько дней был переименован в штаб Юго-Восточного фронта. По мере развития военных действий название его изменилось на Сталинградский,

затем на Южный и позднее на 4-й Украинский. Горжусь, что мне пришлось принять участие в сражении за Сталинград, по окончании которого командование сочло возможным отметить меня орденом Отечественной войны II степени. 28 июня 1943 г. я был тяжело ранен и оказался в госпитале в Баку. И лишь в конце октября 1943 г. вернулся в Москву инвалидом II группы. Московский университет принял бывшего солдата».

Далее я напишу об эпизодах из военной биографии Е.М. Сергеева, рассказы о которых слышала лично от него. В сентябре 1980 г. по окончании 3-й Всесоюзной конференции по инженерной геологии в Ростове-на-Дону состоялась техническая экскурсия по Ростовской области, в которой принимал участие Евгений Михайлович. После осмотра объектов и исторических достопримечательностей в г. Таганроге для Е.М. Сергеева была организована поездка по местам, по которым он с боями прошел во время Великой Отечественной войны. Он хотел вновь увидеть их, так как работал тогда над военными мемуарами. Мы ехали на двух автомашинах на север от Таганрога. Евгений Михайлович напряженно всматривался в окрестности и в одном месте попросил остановить машину. Перед нами расстилась пустынная, без единого кустика или дерева, «сухая балка». Евгений Михайлович сказал, что именно в этом месте проходила линия фронта зимой 1942–1943 гг.: «По западную сторону — немцы, по восточную — мы, а посередине — нейтральная полоса». Противостояние сторон было довольно продолжительным, немцы не переходили в наступление и явно чего-то ждали. Е.М. Сергеев получил приказ добыть «языка», чтобы выяснить замысел противника. Это было очень трудно выполнить. Оборонительный рубеж немцев был на-

СОДЕРЖАНИЕ	
Предисловие	5
Данчев В. И. На лужском рубеже обороны Волховского фронта	7
Дергунев А. Б. Заметки о военных днях	12
Елисеева О. П., Зеленова О. И. Сандружинницы 84-го отдельного медико-санитарного батальона	24
Завалинцев Л. И. На танке до Берлина	27
Кажинкина Е. М. Военный геолог на фронте	34
Клигин К. А. Трудный путь	36
Корин И. З. На Карельском и 2-м Белорусском фронтах	38
Коробов М. И. Фронтовые воспоминания	40
Косыгин Ю. А. Воспоминания военного времени	44
Кулик-Павский В. А. Л. А. Кулик в ополчении. За Родину, за честь, за свободу	50
Ляхович В. В. Гвардейские воздушно-десантные	63
Мирлин Г. А. Незабываемые 1941-й и 1945-й	70
Штеренберг Л. Е., Раабен М. Е., Комар В. А., Кузнецов К. М., Н. П. Михайлов — боец-партизан	79
Осипов М. А. В партизанах на Псковщине	81
Перельман А. И., Рехарский В. И. Геологическое обеспечение фронтов Великой Отечественной войны	112
Пушаровский Ю. М. На войне как на войне	118
Рахьянов В. П. Годы войны	128
Сергеев Е. М. Так было в начале войны	132
Сидоренко К. П. Александр Васильевич Сидоренко	165
Суслов А. Т. В дивизии народного ополчения	168
Тихомиров В. В. На Ленинградском фронте	170
Холодов В. Н. Несколько слов о фронтовой биографии	211
Штеренберг Л. Е. Из воспоминаний старшего лейтенанта, командира батареи	213

Рис. 3. Оглавление книги «Фронт и тыл: геологи Академии наук СССР в годы Великой Отечественной войны»



**Рис. 4.** Дарственная надпись Е.М. Сергеева автору данной статьи в начале книги «Фронт и тыл: геологи Академии наук СССР в годы Великой Отечественной войны»

дежно укреплен, все подступы к нему просматривались, место было открытым, колючая проволока находилась под сигнализацией, осветительные ракеты в ночное время ярко освещали всю местность. Подобраться в такой ситуации незаметно было невозможно, прорваться атакой означало потерять много людей. И все-таки приказ был выполнен с помощью смекалки. На нейтральной полосе (в зоне недосягаемости немецкого обстрела) была поставлена радиоточка — громкоговоритель, из которого утром полились звуки русских песен — «Волга-Волга — мать родная, Волга — русская река...» и другие. Немцы повыскакивали из своих укрытий, но, видя, что все спокойно, начали слушать музыку, а некоторые из них даже подыгрывать на губных гармошках. Так продолжалось довольно долгое время. Немцы были довольны, смеялись. А потом по радио было сделано обращение к солдатам и офицерам на чистом немецком языке, в котором ругали Гитлера, говорили, что он проиграет войну, и призывали немцев сдаться в плен, пока не поздно. Немцы начали обстрел радиоточки, чтобы ее уничтожить. Но это им не удавалось, их огонь до нее не доставал. «Что тут началось, — смеясь, говорил Евгений Михайлович, — немецкие офицеры бегают вдоль своей территории и ничего не могут изменить, а радио в который раз повторяет речь и ругательства в адрес Гитлера. Наконец немцы послали добровольца, чтобы гранатой подавить ненавистное радио. Немец полз, его с нашей стороны было хорошо видно, но никто в него не стрелял. А в нужный момент группа разведчиков выскочила из засады, накрыла его плащ-палаткой и быстро скрутила». Этот «язык» был очень крупный, и разведчики умаялись, таща его на себе. Руководил всей этой операцией Е.М. Сергеев. Он же первый и допросил «языка», которого потом отправили в штаб, где тот при допросе дал важные для нашего командования сведения.

Я спросила Евгения Михайловича, в каком бою он был ранен, и он ответил, что был ранен не на земле, а в воздухе, когда совершал облет оборонительного рубежа полка. Самолет попал под немецкий обстрел, и его обшивка была пробита. Его потрянуло, но он продолжал полет. В пылу Сергеев, не испытывая еще ни-

какой боли, крикнул летчику: «Меняй курс, уходи!» А когда он взглянул на свою ногу, то увидел, что стопы у него нет — ее как ножом срезал осколок. Летчик же не получил никакого ранения и спокойно посадил самолет.

После операции по ампутации части ноги Е.М. Сергеев был направлен на излечение в тыл — в госпиталь в г. Баку. Это было в разгар лета 1943 г. Время шло, а рана не заживала — каждый раз во время перевязки он испытывал жгучую боль, когда отдирали гнойные бинты, чтобы заменить их на свежие. Ему приходилось крепко стискивать зубы, чтобы не кричать от боли. Время шло, но все оставалось по-прежнему. И тогда помог следующий случай. Евгений Михайлович попросил пионеров, регулярно навещавших раненых и снабжавших их всевозможными фруктами, принести ему чеснока. Он и сам не понимал, как эта мысль пришла ему в голову, так как в московской жизни чеснок никогда не употребляли в пищу в их семье. В следующий раз дети принесли ему то, что он просил. Евгений Михайлович вспоминал, что он съел за один раз целую головку чеснока размером с кулак как самый вкусный продукт. И вот пришло время перевязки. Он напрягся, приготовился терпеть боль — а ее не было! Сестра спокойно сняла бинты и повязку, а под ними увидела молодую кожу розового цвета, которая полностью покрыла всю рану. Вскоре Е.М. Сергеева выписали из госпиталя, и он на костылях поехал домой, в Москву. Интересно отметить, что в будущем Евгений Михайлович много работал, участвовал в экспедициях, ездил в многочисленные командировки — и никто даже не догадывался о том, что он ходит на протезе.

Из приведенных воспоминаний Е.М. Сергеева видно, какие тяжелые испытания достались его поколению и ему лично и с какой честью он их выдержал. В тех условиях не только проявились, но и закалились лучшие качества его характера. И можно предположить, что без этих испытаний Евгений Михайлович не стал бы такой многогранной и яркой личностью, какой его знали и любили не только друзья и ученики, но и коллеги во всем мире. Этот человек знал, как взять на себя ответственность в самые решительные моменты жизни.

Я горячо надеюсь, что читатель получил представление о Е.М. Сергееве как об участнике Великой Отечественной войны. Однако желающие могут узнать об этом несравненно больше, обратившись к первоисточникам [1, 2].

*Автор выражает глубокую благодарность дочери Е.М. Сергеева — Наталье Евгеньевне Сергеевой, предоставившей фотографию отца, сделанную в военные годы.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев Е.М. Так было в начале войны // Фронт и тыл: геологи Академии наук СССР в годы Великой Отечественной войны. Очерки по истории геологических знаний. Вып. 28 / отв. ред. В.В. Тихомиров. М.: Наука, 1990. С. 132–164.
2. Сергеев Е.М. За строкой фронтового письма: военные мемуары. М.: Военное издательство, 1985. 190 с.



# ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ОЦЕНКУ РОЛИ И СООТНОШЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ЗОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

## HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF VIEWS ON THE ASSESSMENT OF THE ROLE AND VALUE OF REGIONAL AND ZONAL GEOLOGICAL FACTORS OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS IN REGIONAL STUDIES AND THEIR IMPLICATIONS

**ТРОФИМОВ В.Т.**

*Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., профессор, trofimov@rector.msu.ru*

**КРАСИЛОВА Н.С.**

*Старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., crasilova.nina@yandex.ru*

**TROFIMOV V.T.**

*Head of the department of engineering and ecological geology of the faculty of geology of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), professor, trofimov@rector.msu.ru*

**KRASILOVA N.S.**

*Senior staff scientist of the department of engineering and ecological geology of the faculty of geology of the Lomonosov Moscow State University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Moscow, crasilova.nina@yandex.ru*

### **Ключевые слова:**

*инженерно-геологические условия; региональные геологические факторы; зональные геологические факторы; инженерно-геологические структуры; инженерно-геологические зоны; инженерно-геологические формации; районирование; инженерно-геологическое картографирование.*

### **Key words:**

*engineering-geological conditions; regional geological factors; zonal geological factors; engineering-geological structures; engineering-geological zones; engineering-geological formations; zoning; engineering-geological mapping.*

### **Аннотация**

**В статье рассматривается развитие взглядов на региональные и зональные геологические факторы инженерно-геологических условий. Сформулирован закон зональности инженерно-геологических условий. Охарактеризованы типы и виды инженерно-геологических зон. Изложены теоретические и практические проблемы, которые необходимо было решать с учетом новой глобальной закономерности в распределении инженерно-геологических условий.**

### **О двух позициях в развитии взглядов на проблему, сформулированную в названии темы**

Одно из главных теоретических положений современной инженерной геологии формулируется следующим образом: *современные инженерно-геологические условия любой инженерно-геологической структуры как открытой природной системы сформированы в результате совместного воздействия региональных и зональных геологических факторов, и при анализе данных условий следует оценивать роль обеих указанных групп факторов.* Это положение в общей постановке было теоретически выдвинуто еще И.В. Поповым до 1961 г. [25]. Но на практике еще очень долгие годы в подавляющем большинстве работ при оценке инженерно-геологических условий, например при инженерно-геологическом районировании, учитывались лишь региональные геологические факторы. Примеры этого многочисленны. Такой подход присутствует в том числе в книге «Инженерная геология СССР» И.В. Попова [25, 26] и в восьмитомной монографии «Инженерная геология СССР» [13], удостоенной Ленинской премии в 1982 году. Чем можно объяснить такую ситуацию? Причин тут несколько.

*Во-первых*, недостаточным вниманием специалистов-региональщиков к разработке теоретических вопросов региональной инженерной геологии. Своеобразной «иконой» была книга И.В. Попова «Инженерная геология СССР. Часть I. Общие основы региональной инженерной геологии» [25]. И в силу этого,

### **Abstract**

**This article explains how the views on regional and zonal geological factors of engineering-geological conditions are changed. The law of zoning of engineering-geological conditions is formulated. Types and species of engineering-geological zones are defined. The theoretical and practical items that needed for solution in the light of the new global regularity in the distribution of engineering-geological conditions are exposed.**



видимо, мало кто из инженеров-геологов обращал внимание на то, что описанию и оценке зональных геологических факторов инженерно-геологических условий в этой работе было посвящено лишь около 11 страниц (на десяти из которых рассматривалась зональность грунтовых вод), а региональным факторам было отведено 163 страницы. Иначе говоря, роль зональных геологических факторов была, по существу, не раскрыта в необходимом объеме.

*Вторая причина* связана, скорее всего, с тем, что региональное инженерно-геологическое изучение крупных территорий (Восточно-Европейской платформы, Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и др.), в пределах которых зональные геологические факторы выражены контрастно, проводилось поэтапно, поэтому обобщающая картина «проявилась» не мгновенно, а лишь через некоторое время. Сыграло свою роль и то, что в разных частях названных структур работали разные исследователи и коллективы, а необходимо было инженерно-геологическое знание особенностей хотя бы одной из названных структур в целом.

*Третья причина*, с точки зрения авторов, заключалась в том, что инженеры-геологи при проведении региональных работ, как правило, использовали так называемую «готовую геологическую основу». На ней были отражены многие (если не все) геологические факторы инженерно-геологических условий (геологическое строение, структурные особенности, характеристика рельефа и др.). После пополнения этих материалов об особенностях распространенных на изучаемой территории грунтов и современных геологических процессов составлялись отчетные документы, включая обзорные инженерно-геологические карты СССР, на которых зональные геологические факторы инженерно-геологических условий фактически не отображались.

*Четвертая позиция* тривиальна: новые подходы принимаются не сразу. Необходимо время — время «привыкания». Это четко проявилось и в региональной инженерной геологии.

Оценивая с современных позиций ход развития взглядов на роль и соотношение региональных и зональных геологических факторов, следует выделить две позиции (в порядке их возникновения):

- признание большинством инженеров-геологов теоретического тезиса «*инженерно-геологические условия обусловлены сочетанием региональных и зональных геологических факторов*», но использование при оценке данных условий лишь первой группы факторов (это наиболее ярко проявилось при разработке карт и схем инженерно-геологического районирования многих крупных геологических регионов и даже территории СССР в целом на основе классификационных признаков, предложенных И.В. Поповым);
- не только признание вышеуказанного тезиса, но и его доказательство при специальном изучении пространственного распределения как региональных, так и зональных факторов инженерно-геологических условий и использование полученных данных при оценочных построениях, в частности при районировании.

Попытки выделить этапы развития этих двух позиций не привели к положительному результату. Первая из них, хотя и сформировалась раньше второй, развивалась и использовалась при региональных построениях даже применительно к территории СССР вплоть до конца XX века. Вторая позиция начала развиваться с конца 1960-х гг., четко оформилась в течение 1970-х гг. и использовалась позже при составлении карт инженерно-геологических условий и карт районирования крупных регионов страны и Земли в целом [10, 12, 17, 21, 29 и др.]. В связи с этим рассмотрим историю развития взглядов на обсуждаемые в данной статье вопросы не по этапам, как это обычно делается в исторических обзорах, а по группам — сначала для региональных факторов, затем для зональных, а в заключение охарактеризуем их соотношение при оценке инженерно-геологических условий на современном этапе.

### **История развития взглядов на содержание региональных геологических факторов инженерно-геологических условий и факторов их формирования**

Основы представлений о региональных геологических факторах инженерно-геологических условий были заложены, как уже отмечалось, И.В. Поповым [24]. Им было доказано, что эти факторы прямо или косвенно управляются ходом тектонического развития земной коры. Позже, развивая это положение, И.В. Попов и Г.А. Голодковская [27] писали, что «результаты действия этих факторов в геологическом прошлом запечатлены в геологическом строении и характере пород и в различных следах действия геологических процессов. Чем более удалено в геологическое прошлое время формирования того или иного элемента геологической среды, тем менее сохранилось влияние на него зональных географических факторов и их инженерно-геологическое значение. Влияние зональных факторов больше сказывается на формировании геологической среды на современном этапе геологического развития земной коры и на современных процессах. Но и на современном геологическом этапе результаты влияния зональных факторов на формирование инженерно-геологических условий в существенной мере определяются характером создавшегося в предшествующее время геологического строения территории и действующих синхронно тектонических процессов. Даже влияние таких резко зонально выраженных факторов, как процессы, связанные с мерзлотой, режим грунтовых вод и другие, зависит от характера пород, образованных когда-то в предшествующее геологическое время» [27, с. 11].

Ведущая роль тектонических процессов в формировании инженерно-геологических условий наиболее доказательно была показана в докторской диссертации Г.А. Голодковской [6]. На примере ряда районов Восточной Сибири ею было рассмотрено влияние тектонических процессов не только на структурный план территории, но и на формирование инженерно-геологических особенностей пород. Г.А. Голодковская установила зависимость между их прочностными характеристиками и принадлежностью к различным струк-

турным этажам, а также уменьшение степени метаморфизма и литификации пород в направлении от нижних структурных этажей к верхним и решающую роль тектонического режима в формировании инженерно-геологических характеристик осадочных терригенных пород.

Н.А. Граве и В.В. Баулин [7] показали, что и для территорий развития многолетнемерзлых толщ региональные факторы (по их определению, морфотектонические особенности территории) определяют региональные особенности развития и распространения мерзлых пород. По этим особенностям авторами работы [7] на территории СССР было выделено несколько крупных регионов: Восточно-Европейская равнина, Западная Сибирь, Среднесибирское плоскогорье, Северо-Восток СССР. Однако и зональные факторы оказали большое влияние на развитие инженерно-геологических условий. Именно они определили условия формирования мерзлых толщ, сказались на характере их строения и распространения. По этим признакам Н.А. Граве и В.В. Баулиным [7] были выделены соответствующие районы внутри каждого региона. Это положение было подтверждено также работами В.А. Лыкова и О.П. Овчинникова [21] для Европейского Северо-Востока.

Н.И. Труш [53], В.А. Кудрявцев и К.А. Кондратьева [19] на примере Алданского района Южной Якутии также показали роль региональных факторов в формировании инженерно-геологических условий. По представлению Н.И. Труш [53], региональные факторы (ход геологического развития) определили следующие специфические региональные особенности инженерно-геологических условий:

- широкое развитие сильно раздробленных метаморфических и магматических пород (и связанной с ними значительной по мощности коры выветривания) и пород карбонатной формации нижнего кембрия, способных к выщелачиванию и карстованию;
- незначительные мощности дисперсных неоген-четвертичных отложений;
- характер рельефа, представляющего собой плоскогорье, глубоко расчлененное «тектонически обусловленными» долинами;
- незначительная роль подземных вод в изменении свойств и состояния кристаллических пород.

Зональные факторы, «наложенные» на эти особенности, определили широкое развитие многолетнемерзлых пород, глубокое сезонное промерзание, существенную роль вод слоя сезонного оттаивания и промерзания в обводненности и изменении свойств рыхлых поверхностных отложений, а также развитие и активизацию разнообразных процессов и явлений, связанных с наличием многолетнемерзлых пород.

С.М. Фотиевым [54] впервые были вскрыты особенности формирования сплошного, прерывистого и островного распространения толщи многолетнемерзлых пород Сибири. При этом он отмечает, что в пределах Восточной Сибири на эти особенности существенное влияние оказывают такие региональные факторы, как активность неотектонических движений и карбонатный состав водовмещающих пород.

Во всех этих и многих более поздних работах роль региональных геологических факторов в формирова-

нии как инженерно-геологических условий в целом, так и их отдельных компонентов признавалась как решающая. В соответствии с этим при оценке современных инженерно-геологических условий ведущая роль отдавалась тектонике, тектоническому строению и наиболее крупные таксоны выделялись при районировании по этому признаку. При этом границы регионов, называемых инженерно-геологическими, брались по региональным тектоническим картам, на которых *переработка структур в новейшее время не отражалась*. На первых этапах развития инженерной геологии такой подход, скорее всего, был уместен. Но с развитием неотектоники и появлением неотектонических карт был необходим переход на новые позиции, т.е. *детальный учет истории развития структур в новейшее время и проведение границ на основе новых — неотектонических — признаков*. И такой переход был сделан.

Так, в работах [2, 5, 10] по Западной Сибири и [7] по Восточной была рассмотрена роль новейших тектонических движений в формировании разных факторов инженерно-геологических условий. Для территории Западной Сибири была установлена роль характера и интенсивности новейших тектонических движений в формировании рельефа, мощности четвертичных отложений, их литологического состава. В областях поднятий и горообразования на территории Восточной Сибири дифференциация новейших движений позволила установить закономерности в строении склонов и склоновых отложений, в развитии в них различных процессов. Последующие работы [1, 10, 12, 46] по инженерно-геологическому районированию территории СССР, России и Земли были выполнены на основе *совместного учета региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий, при этом первая группа факторов была представлена неотектоническими классификационными признаками разного уровня*.

Отметим, что масштабность роли региональных факторов формирования инженерно-геологических условий была суммирована В.Т. Трофимовым и Т.И. Аверкиной в работе [45]. Рассмотрев историю геологического развития различных типов тектонических структур земной коры (древних и молодых платформ, орогенов, рифтовых зон, активных континентальных окраин, океанических структур), авторы книги [45] наглядно продемонстрировали ведущую роль тектонических процессов (включая новейшие и современные) в формировании современного инженерно-геологического облика разных структурных зон. Эти процессы обуславливают формирование и распространение пород определенного петрографического состава, их мощность, выдержанность по площади, перерывы в осадконакоплении. От них зависит характер залегания пород, образование пликативных (складчатых) и дизъюнктивных (разрывных) нарушений, вторичной трещиноватости пород и т.д. Особо подчеркивается роль новейших движений, с которыми связаны современные геоморфологические условия, глубина расчленения рельефа, строение и развитие новейших континентальных отложений. Современные движения в значительной степени



определяют особенности напряженного состояния различных участков земной коры и всецело контролируют степень сейсмичности территорий. К складчатым и разрывным нарушениям, зонам концентрации напряжений, определенным геоморфологическим элементам и комплексам пород приурочены определенные наборы геологических процессов (хотя, конечно, нельзя забывать, что проявление экзогенных процессов во многом зависит и от зональных и техногенных факторов).

### **История развития взглядов на содержание зональных геологических факторов инженерно-геологических условий и факторов их формирования**

#### *История развития взглядов на зональный характер распределения разных факторов инженерно-геологических условий*

Содержание и роль зональных геологических факторов инженерно-геологических условий рассматривались в литературе в разных аспектах и по отношению к разным объектам исследований: распространению четвертичных отложений, грунтовых вод, их свойствам, многолетнемерзлым породам, грунтовым толщам, современным геологическим процессам, инженерно-геологическим условиям в целом. Кратко остановимся на всех этих вопросах.

*Зональный характер распространения четвертичных отложений* европейской части СССР был описан Н.И. Николаевым [24] и И.В. Поповым [25, 26]. В.Т. Трофимовым [31] он был охарактеризован для Западно-Сибирской плиты. Во многих работах рассматривалась зональность распространения, состава и свойств лессовых пород. Для Узбекистана эти вопросы наиболее полно были освещены в работах Г.А. Мавлянова и др. В.С. Быкова [3] охарактеризовала определенные закономерности распространения, условий залегания и состава и инженерно-геологических особенностей лессовых пород Русской равнины, Западной Сибири, горных областей Кавказа, Сибири, Средней Азии и Казахстана. Она показала, что для платформенных территорий наиболее четко выражена широтная зональность этих показателей, а для горных районов — высотная поясность. Это дало В.С. Быковой возможность выделить три широтные зоны распространения лессовых пород на территориях Русской и Западно-Сибирской плит. Ею было показано, что для каждой выделенной зоны характерен свой набор наиболее часто встречаемых признаков лессовых пород — преимущественное распространение определенных генетических типов и возрастных горизонтов, их мощность и характер ее изменения, особенности состава и свойств. Отмеченную зональность В.С. Быкова связывала с региональными и зональными особенностями этих территорий — геологическим строением, историей геологического развития (оледенением), неотектоническими движениями, общей географической и климатической зональностью и рельефом. Эти закономерности хорошо проявляются на картах распространения лессовых пород на территории СССР масштабов 1:13 000 000 (1970 г.) и 1:2 500 000 (1989 г.).

*Зональность грунтовых вод* как фактор инженерно-геологических условий была описана И.В. Поповым [25] для Русской плиты и всей территории СССР на основе фундаментальных разработок А.К. Ланге, А.Н. Семихатова и В.И. Духаниной.

Эти же вопросы были рассмотрены В.Т. Трофимовым [31] для территории Западно-Сибирской плиты. Он показал закономерности расположения поясов и зон грунтовых вод, их минерализации, глубин залегания и агрессивности по отношению к бетону.

Интересна работа Э.И. Колота и др. [15], в которой показано инженерно-геологическое значение зональности глубин залегания и агрессивности грунтовых вод для территории Украины. При этом авторы работы [15] отмечают, что для равнинно-платформенной части исследуемой территории характерна широтная зональность в распределении этих показателей, четко связанная с современными климатическими особенностями, а для горно-складчатых областей (Крым, Карпаты) имеется их прямая зависимость от структурно-литогенных особенностей.

Наиболее полно вопросы зональности инженерно-геологических условий были освещены для *территории распространения многолетнемерзлых пород (ММП)*. Возможность использования температуры пород для отражения мерзлотных условий и ее закономерная связь с зональными факторами формирования ММП позволили В.А. Кудрявцеву [18] выделить на территории СССР пять мерзлотно-температурных зон, наличие которых обусловлено климатической составляющей температурного поля. Вопросы зональности распространения ММП рассматривались также в работах [54] для Восточной Сибири, [2, 22, 23, 31, 32, 35-40, 42, 43] для Западной Сибири, [23] для Полярного Урала и северо-востока Восточной равнины, [14] для северо-востока Европейской равнины, [20] для всей территории СССР и в других. Авторы последней работы составили карту масштаба 1:2 500 000, на которой выявлены наиболее общие зональные и региональные закономерности распространения криолитозоны. Широтная и поясная зональность в распространении сезонно- и многолетнемерзлых пород была описана М.М. Шацем [56] для Алтае-Саянской горной страны.

*Зональность грунтовых толщ* как важнейший атрибут инженерно-геологических условий платформенных регионов активно исследовалась в 70–80-х гг. прошлого столетия [9, 29, 31, 51, 52 и др.]. В качестве важнейших документов, в которых отражены полученные закономерности, назовем Карту грунтовых толщ Западно-Сибирской плиты масштаба 1:1 500 000 (1972 г.) и Карту грунтовых толщ европейской части СССР масштаба 1:1 500 000 (1986 г.).

В значительном числе работ обсуждались вопросы *зональности формирования и распространения современных геологических процессов*. Одним из первых их рассмотрел Н.И. Николаев [24]: он составил схему распространения современных геологических процессов по климатическим областям (рис. 1), а не по составу и состоянию грунтовых толщ. Зональный характер распространения современных геологических процессов для Западной Сибири отмечала А.С. Герасимова [4], для территории Перу — Х. Ла Торре Уго, Т. Рамос Видаль (1979 г.).

И.В. Попов и Н.П. Костенко [28] показали, что зональные факторы влияют на условия возникновения склоновых процессов и характер их проявления путем изменения физического состояния пород. Г.С. Золотарев (1975 г.) на примере Большого Кавказа рассмотрел роль региональных и зональных факторов в развитии выветривания, формировании состава и свойств элювиальных отложений.

Большой интерес представляет в этом плане Карта развития и прогноза современных геологических процессов на территории СССР масштаба 1:7 500 000, составленная М.В. Чуриновым, И.М. Цыпиной и В.П. Лазаревой [55], на которой четко проявляется зональность в развитии комплексов главных современных процессов.

Закономерности зонального формирования и распространения современных геологических процессов рассмотрены в серии работ В.Т. Трофимова и др. [31, 57] по территории Западно-Сибирской плиты. В этих публикациях комплексы процессов охарактеризованы для различных зон грунтовых толщ (рис. 2).

Исследования зональности формирования и распределения вышеназванных факторов инженерно-геологических условий поставили на рубеже 60–70-х гг. прошлого века на повестку дня вопрос о необходимости изучения *зональности инженерно-геологических условий в целом*. В ходе этих работ были выдвинуты принципиально новые теоретические положения. И они были доказаны огромным экспериментальным региональным материалом.

**Введение понятия «зональность инженерно-геологических условий» и ее отражение в региональных таксономических единицах**

Понятие «зональность инженерно-геологических условий» было введено В.Т. Трофимовым [36, 37]. Оно прочно вошло в теорию и практику региональной ин-

женерной геологии в 1970-х гг. Существенный вклад в развитие данного вопроса внесли работы И.С. Комарова [16], Е.С. Мельникова [22] и др. Под указанным термином было предложено [30, 40] понимать *один из типов пространственного изменения инженерно-геологических условий, выражающийся в их закономерной широтной трансформации в пределах равнинных или платообразных платформенных регионов континентов Земли и широтно-высотной (высотно-поясной) — в пределах орогенных горно-складчатых регионов*. Такой характер изменений был показан на примерах Западно-Сибирской плиты, Русской плиты, Кавказа и всех континентов Земли [30–40, 42–45].

В итоге в региональной инженерной геологии было сформировано *учение о зональности инженерно-геологических условий*. В наиболее полном виде оно изложено в монографии [33]. В ней показано, что зональность инженерно-геологических условий свойственна всем структурным зонам земной коры. Но наиболее отчетливо она проявляется в пределах платформ, вытянутых на значительные расстояния с севера на юг, и особенно четко — на территориях плит молодых платформ, верхняя часть разреза которых сложена слаболитифицированными позднекайнозойскими отложениями, свойства которых чрезвычайно зависят от степени их увлажнения и фазового состояния содержащейся в них влаги.

На примере территории Западно-Сибирской плиты и других регионов было показано, что все факторы инженерно-геологических условий отчетливо изменяются от северных районов к южным и с увеличением высоты над уровнем моря, что объясняется естественно-историческими причинами, в первую очередь историей геологического развития в средне- и позднечетвертичное время, климатическими особенностями всего позднего голоцена, а также характером современной теплообеспеченности и увлаж-

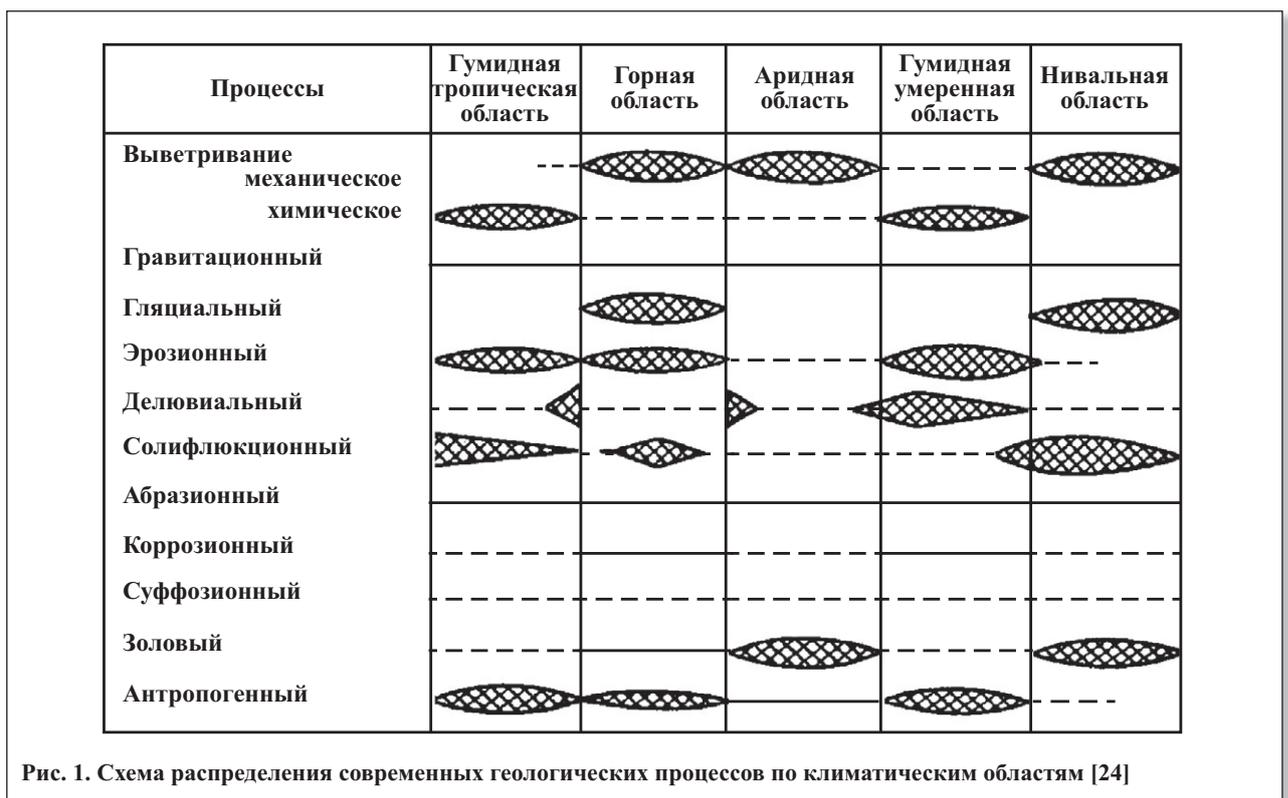


Рис. 1. Схема распределения современных геологических процессов по климатическим областям [24]



странения сильно увлажненных пород; (4) распространения слабо и умеренно увлажненных пород. Было показано, что каждая из них характеризуется специфическими инженерно-геологическими особенностями [36].

Последующие работы позволили усовершенствовать эти представления и предложить более полную систематику на уровне инженерно-геологических зон. Были выделены три типа инженерно-геологических зон (см. таблицу): (I) практически сплошного распространения ММП; (II) совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород; (III) распространения талых и немерзлых пород. Первая зона приурочена к высоким широтам Земли, вторая расположена на севере умеренного пояса, а третья охватывает большую часть площади континентов.

В пределах первого типа выделяют следующие виды зон: практически сплошного распространения ММП; распространения ледников и ММП. Ко второму типу относят зоны: массивно-островного и островного распространения ММП (многолетнемерзлые образования занимают 30–95% площади); редкоостровного распространения ММП (менее 30% площади). В третьем типе выделяют следующие виды зон: распространения сильно увлажненных пород; распространения слабо и умеренно увлажненных пород. Два последних вида занимают обширные территории в низких и средних широтах, а также в средне- и низкогорьях. В первую очередь это относится к зоне распространения сильно увлажненных пород, которая объединяет огромные площади в районах умеренного, субтропического и тропического климата. Характеристика типов и видов инженерно-геологических зон и признаки проведения границ между ними в данной статье не приводятся. В наиболее полном объеме это сделано в работе [33]. Подчеркнем лишь три позиции.

1. Границы инженерно-геологических зон связаны с определенными значениями радиационного индекса сухости и радиационного баланса, а в пределах широт с одинаковыми диапазонами последнего — только с первым показателем. В дополнение лишь добавим, что граница между зонами распространения сильно

увлажненных пород и слабо и умеренно увлажненных пород проходит в районе изолинии, соответствующей величине радиационного индекса сухости 0,9.

2. Закон зональности инженерно-геологических условий континентов Земли сформулирован следующим образом: зональное изменение инженерно-геологических условий континентов Земли выражается в их закономерной горизонтальной и вертикальной (высотной) трансформации и определяется современными теплообеспеченностью и влагообеспеченностью и их соотношением.

3. Зональность инженерно-геологических условий континентов — явление глобальное. Его нужно учитывать как при общетеоретических построениях, так и при проведении инженерно-геологических изысканий.

Для обобщения сведений о зональности инженерно-геологических условий континентов Земли была разработана [33] модель распределения инженерно-геологических зон на идеальном континенте (рис. 3). При сравнении рис. 3, а и 3, б видно, что границы географических и инженерно-геологических зон существенно отличаются друг от друга. Это сравнение свидетельствует о том, что названные зоны — явления по своему содержанию различные, хотя и обусловленные одной причиной — характером тепло- и влагообеспеченности. Инженерно-геологические зоны, формирование которых обусловлено геологическими причинами (в т.ч. историей геологического развития в позднечетвертичное время) и современными климатическими особенностями, коренным образом отличаются от географических (ландшафтных) зон по своему содержанию и свойствам и гораздо шире их в территориальном отношении.

### **Изменение позиций во взглядах на оценку роли и соотношение региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий, обусловленные их зональностью**

Установление и описание новой, глобальной, закономерности в пространственном распределении (зональности) инженерно-геологических условий повлекли за собой как неизбежное следствие необходимость решения новых теоретических вопросов и практических задач. Главное из них — появление целого ряда работ, в которых действительно было реализовано одно из главных положений инженерной геологии: современные инженерно-геологические условия любой инженерно-геологической структуры как *открытой природной системы* сформированы совместным воздействием региональных и зональных геологических факторов их формирования, и при их анализе следует оценивать роль обеих этих групп факторов. В доказательство этого приведем следующие позиции.

*Позиция 1.* Установление зональности инженерно-геологических условий континентов Земли потребовало принципиального развития теоретических оснований региональной инженерной геологии, сформированных на этапе ее становления [25]. Главные направления этой работы — новые аспекты (а может быть, и «центры тяжести») исследования истории

Таблица

Типы и виды инженерно-геологических зон (по [38])		
№	Инженерно-геологические зоны	
	Тип	Вид
I	Практически сплошного распространения ММП	А. Практически сплошного распространения ММП
		Б. Распространения ледников и ММП
II	Совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород	В. Массивно-островного и островного распространения ММП
		Г. Редкоостровного распространения ММП
III	Распространения талых (и немерзлых) пород	Д. Распространения сильно увлажненных пород
		Е. Распространения слабо и умеренно увлажненных пород

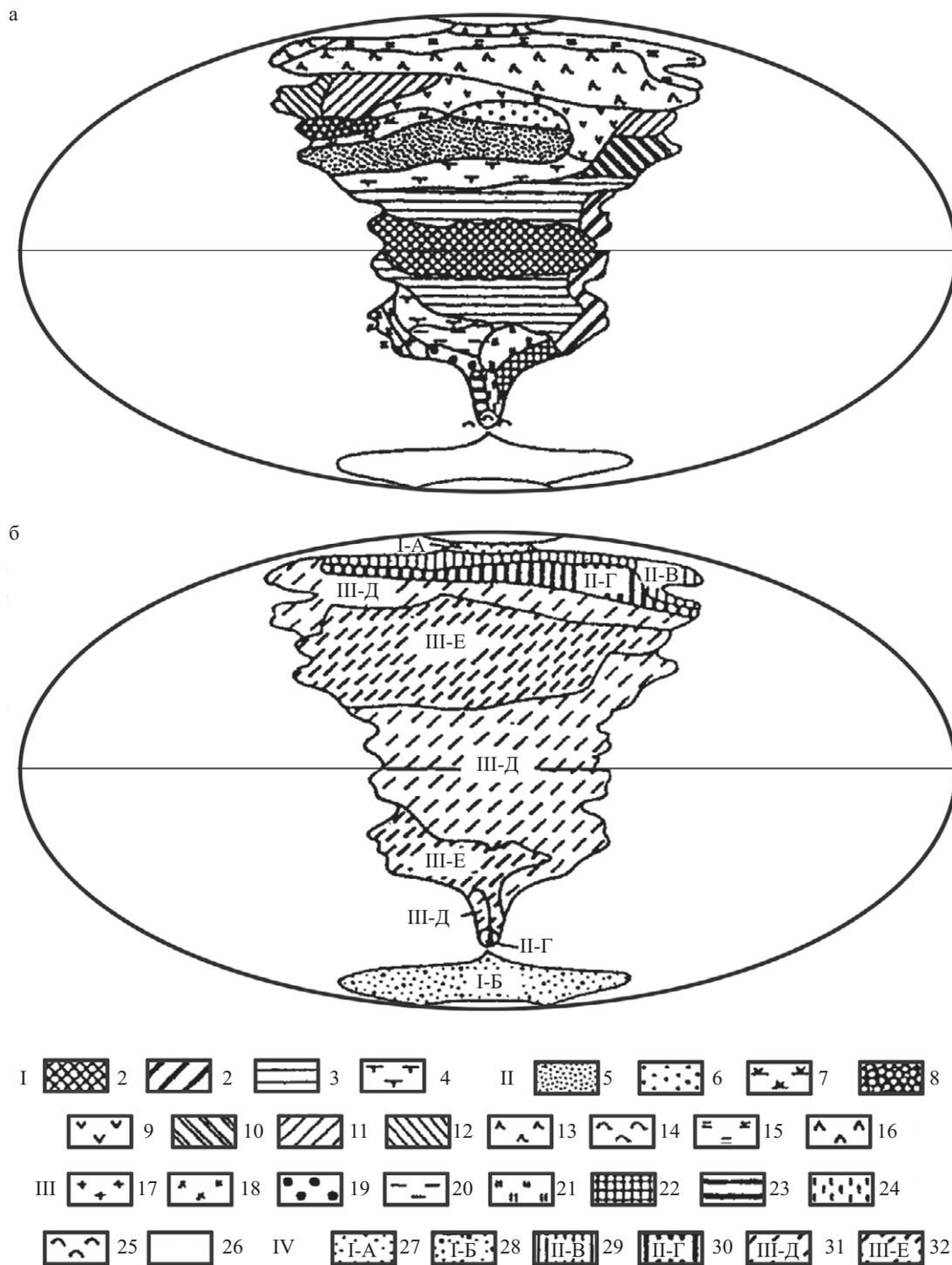


Рис. 3. Географические (а) и инженерно-геологические (б) зоны на идеальном континенте [33]. Условные обозначения: 1–4 — тропические зоны: 1 — экваториальный дождевой лес, 2 — тропические дождевые леса, развитые в области пассатных орографических осадков, 3 — тропические саванны (влажные саванны) и листопадные леса, 4 — тропические колючие степи и колючие леса; 4–16 — внетропические зоны Северного полушария: 5 — сухие пустыни, 6 — холодные внутриматериковые пустыни, 7 — субтропические зимнезеленые степи, 8 — зона зимних дождей с жарким летом, 9 — зона травяных степей с холодной зимой, 10 — зона влажных муссонных и лавровых лесов с жарким летом, 11 — летнезеленые леса, 12 — океанические летнезеленые листопадные и лавровые леса, 13 — бореальные березовые леса, 15 — субарктические тундры, 16 — арктические пустыни; 17–26 — внетропические зоны Южного полушария: 17 — прибрежные пустыни, 18 — пустыни, развитые в пределах пояса «гаруа», 19 — зона зимних дождей, 20 — субтропические колючие степи Карру, Монте, 21 — субтропические злаковники, 22 — субтропические дождевые леса, 23 — умеренные холодные дождевые леса, 24 — степи Патагонии и Новой Зеландии, 25 — субантарктические туссоковые луга и болота, 26 — антарктическая область материкового ледника; 27–32 — виды инженерно-геологических зон: 27 — зона практически сплошного распространения ММП, 28 — зона распространения ледников и ММП, 29 — зона массивно-островного и островного распространения ММП, 30 — зона редкоостровного распространения ММП, 31 — зона распространения сильно увлажненных пород, 32 — зона распространения слабо и умеренно увлажненных пород

формирования инженерно-геологических условий [11, 13, 31], их пространственного распределения [12, 13, 41], создания новых моделей инженерно-геологических условий [50] и моделей их эволюции в эпоху тектогенеза, изучения инженерно-геологических условий на уровне отдельных континентов и Земли в целом [11, 12, 32, 33, 36, 58 и др.].

*Позиция 2.* Установление описанного явления потребовало поиска принципиально новых путей обособления иерархического ряда определенных объемов литосферы, обладающих определенными инженерно-геологическими особенностями, обусловленными взаимодействием региональных и зональных геологических факторов. Был введен термин «*инженерно-геологическая структура*» и предложена иерархия и классификация таких структур с учетом глобальных особенностей их распределения [1, 44, 45, 47]. Под этим термином было предложено понимать *закономерно организованные объемы (части) геологического пространства, сформированные под действием определенных региональных и зональных факторов и однородные по каким-либо инженерно-геологическим параметрам*. В развитие этого положения были сформулированы признаки обособления инженерно-геологических супер-, мега-, макро- и мезоструктур, поставлен вопрос об их парагенетических рядах и предложена их классификация применительно к объему всей Земли.

*Позиция 3.* Разработка проблемы зональности инженерно-геологических условий континентов Земли стимулировала постановку вопроса об инженерно-геологических формациях. В.Т. Трофимовым [34] было показано, что *инженерно-геологическая формация — это полипородное многокомпонентное геологическое тело, включающее взаимодействующие твердую, жидкую и газообразную составляющие, объединяющие парагенетически связанные между собой геологические тела меньшего объема, сформировавшиеся в определенных тектонических и климатических условиях, претерпевшие впоследствии, в ходе геологической истории, воздействие одних и тех же геологических процессов и находящиеся в настоящее время в однотипном и регионально выдержанном состоянии (обусловленном фазовым состоянием и содержанием жидкого компонента)*.

Соотношение объемов геологической и инженерно-геологической формаций может быть различным. В крайней ситуации они могут совпадать — когда породы, слагающие геологическую формацию, находятся в одинаковом состоянии (например, если отложения терригенной формации верхнеплиоцен-четвертичного или палеогенового возраста находятся в многолетнемерзлом состоянии). Однако в большинстве случаев объем геологической формации больше, поскольку разные ее части в настоящее время могут находиться в разном состоянии (например, часть — в многолетнемерзлом, а часть — в немерзлом) и, исходя из предложенного подхода, должны быть обособлены в виде разных инженерно-геологических формаций.

Разработка классификации инженерно-геологических формаций — дело сложное, особенно в условиях смены парадигмы в геологии, когда ранее соз-

данное учение о геологических формациях требует научного переосмысления. Но инженеры-геологи начали эту работу.

*Позиция 4.* Наличие зональности инженерно-геологических условий континентов Земли потребовало *существенных корректив теоретических и методических основ инженерно-геологического районирования* — одного из основных методов систематизации данных о пространственных закономерностях изменения условий. Были обоснованы два пути учета этих закономерностей [38, 48]. Первый из них — использование системы однорядного (последовательного) генетико-морфологического инженерно-геологического районирования, в которой «общепринятый» ряд таксономических единиц дополнен инженерно-геологическими зоной и подзоной, что позволило учесть зональное изменение инженерно-геологических условий. Второй путь — использование двурядной (перекрестной) системы районирования, при котором региональные геологические факторы рассматриваются по одной оси классификационной таблицы-матрицы, а зональные геологические — по другой. Производные единицы, как бы представляющие клетки разного объема (порядка), являются таксонами инженерно-геологического районирования, особенности которых обусловлены взаимодействием двух названных групп факторов.

Обе эти системы инженерно-геологического районирования используются в практической работе. Первая имеет ряд преимуществ при проведении регионального инженерно-геологического районирования одного, хотя и очень крупного по площади, региона. Вторая имеет несомненные преимущества при районировании нескольких регионов, в т.ч. при типологическом.

*Позиция 5.* Установление зональности как одной из форм пространственного изменения инженерно-геологических условий потребовало *разработки новых приемов составления карт инженерно-геологических условий* (и синтетических, и аналитических, в первую очередь обзорных и мелкомасштабных) и *инженерно-геологического районирования*. Эта задача была успешно решена и позволила создать принципиально новые инженерно-геологические карты [11, 27, 44]. В полной мере данная позиция отражена в составленной по заданию Федерального агентства «Роснедра» Современной карте инженерно-геологических условий территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 и в аналогичной карте инженерно-геологического районирования [17].

Можно было бы продолжить этот ряд. Но уже перечисленное убедительно свидетельствует о том, что установление зональности инженерно-геологических условий имело принципиальное значение для развития теоретических положений региональной инженерной геологии. Различия в инженерно-геологических условиях выделенных зон имеют и важное прагматическое значение: необходимо решать разные задачи в процессе инженерно-геологических исследований и изысканий, применять разные методы их проведения, а также использовать разные приемы при строительстве. Все названные позиции достаточно подробно охарактеризованы в [33].



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверкина Т.И.* Инженерно-геологическое районирование Северной Евразии на основе сопряженного учета региональных и зональных геологических факторов: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1994. 21 с.
2. *Баулин В.В.* О влиянии тектонического строения территории на мерзлые породы (на примере бассейна среднего течения р. Ныды, Западная Сибирь // Мерзлотные исследования. 1978. № 17. С. 157–168.
3. *Быкова В.С.* Распространение, условия залегания лессов и лессовидных пород СССР и их инженерно-геологическая характеристика // Труды ПНИИИС. 1972. № 19. С. 4–10.
4. *Герасимова А.С.* Современные геологические процессы нижнего Приобья и их инженерно-геологическое значение: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1960. 20 с.
5. *Герасимова А.С., Ершова С.Б., Коцериба Л.А.* Значение неотектоники при инженерно-геологическом районировании Западной Сибири // Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М.: Недра, 1967.
6. *Голодковская Г.А.* Региональное инженерно-геологическое изучение территории на основе геолого-структурного анализа: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1968. 46 с.
7. *Голодковская Г.А., Костенко Н.П.* О роли неотектоники при инженерно-геологическом районировании // Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М.: Недра, 1967. С. 137–144.
8. *Граве Т.А., Баулин В.В.* Региональные закономерности развития мерзлых толщ в СССР // Материалы 2-й Международной конференции по мерзлотоведению, Якутск, 1973 г. Вып. 8. Якутск: Якутское книж. изд-во, 1975. С. 46–56.
9. *Груздов А.В., Зилинг Д.Г.* Типизация грунтовых толщ нечерноземной зоны европейской части РСФСР и возможности ее применения при гидромелиоративном строительстве // Инженерная геология. 1980. № 3. С. 16–2.
10. *Ершова С.Б.* Анализ новейших движений при инженерно-геологическом районировании (на примере Западно-Сибирской плиты). М.: Изд-во МГУ, 1976. 143 с.
11. *Ершова С.Б.* Основные положения инженерно-геологической типизации поверхности земного шара // Инженерная геология. 1979. № 3. С. 31–43.
12. *Ершова С.Б.* Проблемы типизации и районирования инженерно-геологических условий Земли и территории Советского Союза // Проблемы инженерной геологии. М.: Наука, 1991. С. 243–250.
13. Инженерная геология СССР. Т. 1–8. М.: Изд-во МГУ, 1976–1978.
14. *Какунов Н.Б.* О распространении многолетнемерзлых пород на Европейском Северо-Востоке // Вопросы изучения режима подземных вод и инженерно-геологических процессов в районах распространения многолетнемерзлых пород. Сыктывкар, 1975. С. 126–135.
15. *Колот Э.И., Пономарев Е.С., Сурдутович О.И. и др.* Опыт инженерно-геологической типизации территории Украины по глубине залегания и агрессивности грунтовых вод // Известия Днепропетровского отделения Украинского географического общества. 1973. Вып. 3. С. 106–113.
16. *Комаров И.С.* Основы комплексного метода инженерно-геологического изучения равнинных территорий, покрытых чехлом четвертичных отложений: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1966. 46 с.
17. *Круподеров В.С., Трофимов В.Т., Чекрыгина С.Н.* Научно-методические подходы и принципы составления современной инженерно-геологической карты России масштаба 1:2 500 000 // Разведка и охрана недр. 2008. № 6. С. 24–26.
18. *Кудрявцев В.А.* Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 182 с.
19. *Кудрявцев В.А., Кондратьева К.А.* Мерзлотно-гидрогеологическая карта Южной Якутии в масштабе 1:2 500 000 // Мерзлотные исследования. 1967. Вып. 7. С. 98–112.
20. *Кудрявцев В.А., Кондратьева К.А., Романовский Н.Н.* Зональные и региональные закономерности формирования криолитозоны СССР // Труды 3-й Международной конференции по мерзлотоведению. Т. 1. Оттава, 1978. С. 527–532.
21. *Лыков В.А., Овчинников О. П., Сиходольский С.Е.* Мерзлотно-инженерно-геологическое районирование Европейского Северо-Востока // Особенности геологического строения Северо-Востока Европейской части СССР и Севера Урала. Сыктывкар, 1976. С. 118–123.
22. *Мельников Е.С.* Принципы общего инженерно-геологического районирования в области многолетнемерзлых пород // Материалы 4-го регионального совещания по инженерной геологии. Л., 1968. С. 74–76.
23. *Минкин М.А., Бойкова И.М., Маслов А.Д. и др.* Мерзлотное инженерно-геологическое районирование для целей строительства сооружений // Труды Государственного института по проектированию оснований и фундаментов «Фундаментпроект». 1974. Вып. 14. С. 25–40.
24. *Николаев Н.И.* Генетические типы новейших континентальных отложений // Бюллетень МОИП. Отд. Геология. № 4. 1946.
25. *Попов И.В.* Инженерная геология СССР. Ч. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1961. 178 с.
26. *Попов И.В.* Инженерная геология СССР. Ч. 2. Европейская часть СССР. М.: Изд-во МГУ, 1965. 477 с.
27. *Попов И.В., Голодковская Г.А.* Теоретические основы региональной инженерной геологии // Инженерная геология СССР. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 9–37.
28. *Попов И.В., Костенко Н.П.* Региональные и зональные закономерности возникновения и развития склоновых процессов и их отложений // Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 12. Душанбе: Дониш, 1968. С. 19–34.



29. *Сергеев Е.М., Герасимова А.С., Трофимов В.Т.* Объяснительная записка к инженерно-геологической карте Западно-Сибирской плиты, масштаб 1:1 500 000. М.: Изд-во МГУ, 1972. 96 с.
30. *Трофимов В.Т.* Закон зональности инженерно-геологических условий Земли // Теоретические вопросы инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1999. С. 49–52.
31. *Трофимов В.Т.* Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во МГУ, 1977. 280 с.
32. *Трофимов В.Т.* Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1983. № 6. С. 3–11.
33. *Трофимов В.Т.* Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
34. *Трофимов В.Т.* Инженерно-геологические формации: идея, содержание, подходы и признаки выделения // Труды Научной конференции «Новые идеи в инженерной геологии». М.: Изд-во МГУ, 1996. С. 30–33.
35. *Трофимов В.Т.* Инженерно-геологическое районирование крупных территорий на основе анализа закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты): автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1976. 49 с.
36. *Трофимов В.Т.* К введению понятия «инженерно-геологическая зона» // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1974. № 2. С. 49–66.
37. *Трофимов В.Т.* О причинной обусловленности зонального изменения инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты) // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. 3. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 276–300.
38. *Трофимов В.Т.* О путях учета закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий при районировании крупных территорий // Инженерная геология. 1979. № 1. С. 38–46.
39. *Трофимов В.Т.* О ряде теоретических вопросов инженерно-геологического районирования // Тезисы докладов 5-й Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с промышленно-гражданским строительством и разработкой месторождений полезных ископаемых». Т. 1. Свердловск, 1984. С. 75–78.
40. *Трофимов В.Т.* О содержании ряда фундаментальных понятий региональной инженерной геологии // Инженерная геология. 1986. № 5. С. 10–21.
41. *Трофимов В.Т.* Основные закономерности широтного (зонального) изменения инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты // Природные условия Западной Сибири. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 157–170.
42. *Трофимов В.Т.* Проблемы региональной инженерной геологии // Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 25–41.
43. *Трофимов В.Т.* Региональные геологические и зональные факторы формирования инженерно-геологических условий // Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. С. 242–244.
44. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И.,* Инженерно-геологические структуры: иерархия, типы, парагенетические ряды // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1996. № 4. С. 15–26.
45. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И.* Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.
46. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И., Зилинг Д.Г.* Содержание и методика составления карты инженерно-геологического районирования Северной Евразии // Геоэкология. 1996. № 2. С. 78–85.
47. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И., Спиридонов Д.А.* Инженерно-геологические структуры Земли. М.: Изд-во МГУ, 2001. 176 с.
48. *Трофимов В.Т., Богданов М.И.* Инженерно-геологическое районирование (теория и практика). // Гидрогеология и инженерная геология: обзор ВНИИ экон. минер. сырья и геолого-разв. работ (ВИЭМС). М.: Изд-во ВИЭМС, 1989. С. 53–56.
49. *Трофимов В.Т., Гомбын Л.А.* Инженерно-геологическое районирование Монгольской Народной Республики // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1983. № 1. С. 55–62.
50. *Трофимов В.Т., Спиридонов Д.А.* Теоретико-графическая модель инженерно-геологических условий и их изменение в эпоху техногенеза // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1998. № 2. С. 53–59.
51. *Трофимов В.Т., Фадеев П.И.* Систематика грунтовых толщ Нечерноземной зоны РСФСР // Природные условия Нечерноземной зоны РСФСР. М.: Изд-во МГУ, 1982. Вып. 1. С. 106–119.
52. *Трофимов В.Т., Фадеев П.И., Кропоткин М.П.* и др. О содержании и методике составления карты грунтовых толщ Нечерноземной зоны РСФСР / Природные условия Нечерноземной зоны РСФСР. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1982.
53. *Труш Н.И.* Основные особенности инженерно-геологических условий области островного распространения многолетнемерзлых пород (на примере Алданского района Южной Якутии) // Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1966. Вып. 5. С. 134–149.
54. *Фотиев С.М.* Зональные и региональные закономерности формирования прерывистости толщи многолетнемерзлых пород // Труды ПНИИИС. 1974. Вып. 29. С. 24–38.
55. *Чуринов М.В., Цыпина И.М., Лазарева В.П.* Типизация территории СССР для инженерно-геологических целей // Труды ВСЕГИНГЕО. 1974. Вып. 76. С. 7–14.
56. *Щац М.М.* Геокриологические условия Алтае-Саянской горной страны. Новосибирск: Наука, 1978. 104 с.
57. Экзодинамика Западно-Сибирской плиты (пространственно-временные закономерности) / под редакцией В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1986. 288 с.
58. Engineering Geology of the Earth. Moscow: Nauka Publishers, 1989. 248 p.



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И КОНСТРУКЦИЙ КРЕПИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЯ НА УЧАСТКЕ СЕВЕРОКАВКАЗСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ СОЧИ — АДЛЕР

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE ROCKS AND LINING STRESS-STRAIN STATE DURING CONSTRUCTION OF A TUNNEL IN THE SOCHI — ADLER SECTION OF THE NORTH CAUCASIAN RAILROAD

### БАСОВ А.Д.

Заведующий лабораторией геофизики научно-исследовательского отдела ОАО «Ленметрогипротранс», г. Санкт-Петербург, basovaleksandr2012@gmail.com, lmg1@lenmetro.ru

### РОМАНЕВИЧ К.В.

Научный сотрудник научно-исследовательского отдела ОАО «Ленметрогипротранс», kirillromanevich@gmail.com

### BASOV A.D.

The head of the Laboratory of Geophysics of the Research Department of the «Lenmetrogiprotans» OJSC, Saint Petersburg, basovaleksandr2012@gmail.com, lmg1@lenmetro.ru

### ROMANEVICH K.V.

A staff scientist of the Research Department of the «Lenmetrogiprotans» OJSC, Saint Petersburg, kirillromanevich@gmail.com

### Ключевые слова:

напряженно-деформированное состояние (НДС); горно-экологический мониторинг; экзогенные геологические процессы; транспортный тоннель; временная крепь; датчики деформаций; естественное электромагнитное излучение (ЕЗМИ).

### Key words:

stress-strain state (SSS); mining-environmental monitoring; exogenous geological processes; transportation tunnel; temporary supports; strain sensors; natural electromagnetic radiation (NEMR)

### Аннотация

Приводятся результаты экспериментальных работ в натуральных условиях по разработке методики применения данных регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЗМИ) для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций крепи тоннеля и массива горных пород. Обсуждаются вопросы методики и дальнейших исследований по изучению взаимосвязей ЕЗМИ с НДС.

### Введение

В настоящее время одной из основных задач подготовки олимпийских объектов в Сочи по федеральной целевой программе является строительство большого количества транспортных тоннелей, которые будут обеспечивать сообщение между разными частями города, расположенного в предгорьях Кавказа. Строительство этих тоннелей ведется ускоренными темпами в сложных геологических условиях, что требует высокого уровня промышленной безопасности и качественного научного сопровождения. Последнее достигается благодаря разработанной и внедренной ОАО «Ленметрогипротранс» (ЛМГТ) системе горно-экологического мониторинга<sup>1</sup> при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей [2].

Работы по горно-экологическому мониторингу на строящихся тоннелях в Сочи ведутся группой специалистов научно-исследовательского отдела (НИО) Ленметрогипротранса. Основной объем мониторинговых работ, включающих в себя геофизические, геомеханические, экологические и другие наблюдения, приходится на строящиеся тоннели совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис», имеющие общую протяженность подземных выработок около 32,5 км. Специалистами ЛМГТ в этом регионе ведутся также мониторинговые работы на некоторых действующих тоннелях существующей линии Туапсе — Адлер Северокавказской

### Abstract

The article presents results of experimental field studies to develop the method of using data of recording Natural Electromagnetic Radiation (NEMR) for evaluating tunnel line and rock massif stress-strain state (SSS). Problems of the technique and further research on investigation of interrelationships between NEMR and SSS are discussed.

<sup>1</sup> Вместо термина «горно-экологический мониторинг» в данном случае, то есть при строительстве тоннелей, правильнее использовать термин «режимные геотехнические наблюдения». — *Ред.*



железнодорожной и строящихся тоннелях второго сплошного пути на участке Сочи — Адлер.

### Анализ проблемы

Основными факторами промышленной безопасности строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в пределах горного отвода являются [2]:

- эндогенные процессы (современные тектонические движения в земной коре, землетрясения и связанные с ними явления);
- экзогенные геологические процессы (склоновые явления, карстово-суффозионные явления, просадки грунта, криогенные процессы, горные удары, разрушения крепей, внезапные обрушения подземных выработок и другие).

Разработка метода, способного дать экспресс-оценку и прогноз проявлений таких процессов в крепи тоннеля, во вмещающем массиве, а также на дневной поверхности, представляется крайне важной и перспективной задачей для системы комплексного горно-экологического мониторинга на всех этапах существования тоннеля.

Прогноз при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей должен быть направлен на выявление предвестников опасных проявлений геодинамики. Для прогнозирования геодинамической активности необходимо выбрать интегральный показатель, с помощью которого можно характеризовать надежность подземного сооружения. Этот показатель должен чутко реагировать на приближения деформаций и напряжений в крепи и обделке к их предельным значениям [5]. Методы горной геофизики, использующие в качестве такого показателя геофизические поля, представляются одним из важнейших направлений исследований в разработке методов прогноза динамических событий в массиве горных пород. В этом отношении перспективным является метод, основанный на наблюдениях за естественными электромагнитными излучениями (ЕЭМИ) в горных массивах и крепях тоннелей [6].

Геофизические методы прогноза геодинамических событий основаны на сопоставлении измеренных в разных пунктах горных выработок значений параметров геофизических полей с их критическими значениями. В качестве относительных характеристик напряженно-деформированного состояния пород в зоне опорного давления используются вариации естественных или искусственно наведенных геофизических полей [3]. Критические значения параметров соответствуют переходу участка в удароопасное состояние. Физическая сущность параметров различается в зависимости от специфики метода, но все они функционально связаны с реакциями пород на нагрузки в виде деформаций. Обычно используют относительное изменение контролируемого физического параметра среды в зоне активного проявления горного давления по сравнению с его значением в нетронутом массиве или интенсивностью естественного поля [4].

### Методика работ

Комплексные геомеханические и геофизические (ЕЭМИ) исследования строительных конструкций тоннелей и элементов горного массива используются для



Рис. 1. Проходка железнодорожного тоннеля № 6-бис осуществлялась типовым горным способом стреловыми проходческими комбайнами с погрузкой грунта в подземные автопоезда МоАЗ

разработки новых эффективных методов надежного неразрушающего экспресс-контроля и прогноза безопасной эксплуатации подземных транспортных сооружений.

В рамках данной работы были проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния временной арочно-бетонной крепи и вмещающего массива строящегося железнодорожного тоннеля № 6-бис.

Строительство однопутного тоннеля № 6-бис велось в центре города Сочи (в районе железнодорожного вокзала) с мая 2011 г. на южном портале и с осени 2011 г. на северном. Проходка железнодорожного тоннеля № 6-бис осуществлялась типовым горным способом стреловыми проходческими комбайнами с погрузкой грунта в подземные автопоезда МоАЗ (рис. 1).

Однократная выемка грунта из забоя (заходка) составляла от 1 до 3 м, расстояние между арками — от 0,75 до 1 м. Рядом находится действующий однопутный железнодорожный тоннель № 6, по которому организовано интенсивное движение пассажирских и грузовых поездов в северном и южном направлениях (рис. 2). Расстояние между осями тоннелей — от 25 до 65 м. Проходка велась в тонкослоистых плитчатых аргиллитах разной степени трещиноватости и обводнен-

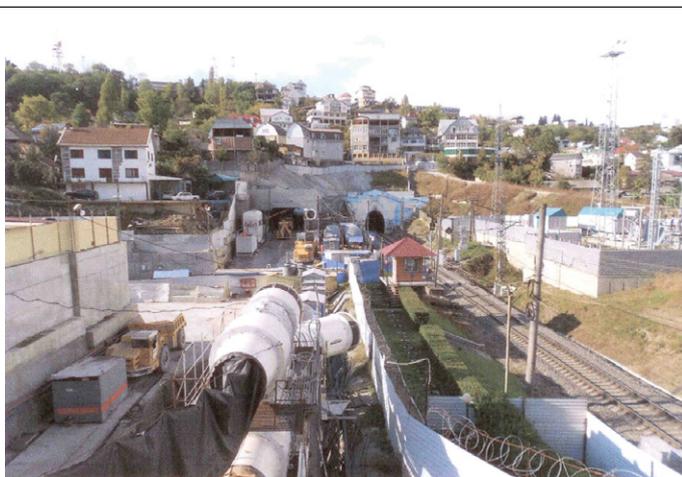


Рис. 2. Действующий однопутный железнодорожный тоннель № 6



Рис. 3. Датчик линейных деформаций ТБ-200

ности с редкими маломощными (толщиной 1,0–1,5 см) прослоями мелкозернистого песчаника.

При возведении временной крепи в тоннеле № 6-бис оборудовались опытные участки для измерений деформаций. На каждом участке (сечении) устанавливали по одной полигональной сварной раме из двутавра № 30 на усиленных участках и по одной (или две) арматурной арке на неусиленных. Бетонирование временной крепи выполнялось с помощью технологии набрызг-бетонирования оборудованием Roboshot.

Для контроля изменений напряженно-деформированного состояния в натуральных условиях при производстве работ, связанных с горно-экологическим мониторингом в строящихся тоннелях в г. Сочи, использовались два вида датчиков-деформометров. Первый из них — преобразователи линейных деформаций измерительные струнные ТБ-200 (РФ), предназначенные для измерений статических относительных линейных деформаций сжатия и растяжения бетонных конструкций при контрольных наблюдениях и натуральных исследова-

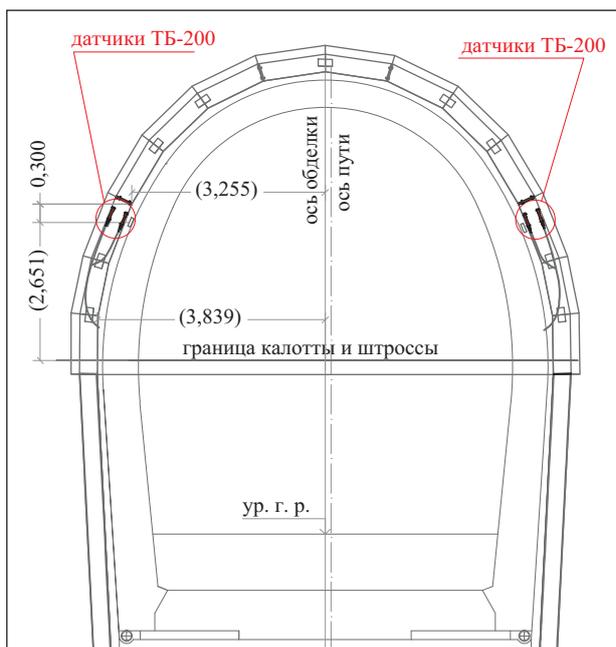


Рис. 4. Схема установки датчиков ТБ-200 на внешнем и внутреннем контуре двутавровой арки

дованиях. Датчики линейных деформаций ТБ-200 (рис. 3) представляют собой струну, закрепленную между двумя опорными шайбами внутри металлической тонкостенной трубы. Измеряемым параметром является период колебания струны в микросекундах. Измерительная база составляет 200 мм.

Второй вид датчиков — замоноличиваемые струнные тензометры производства британской компании Soil Instruments, предназначенные для измерения деформаций в железобетонных конструкциях. Измерительный сенсор такого тензометра состоит из струнного элемента, прикрепленного к специальным фланцам на концах корпуса датчика, и вторичного преобразователя в виде электромагнитной катушки. Корпус датчика изготовлен из нержавеющей стали. Измерительная база составляет 150 мм.

Датчики крепятся обычной вязальной проволокой на внешнем и внутреннем контуре двутавровой арки (рис. 4). Они устанавливаются в субвертикальном положении в центре поперечного сечения арматурного каркаса при возведении крепи из арматурных арок (рис. 5). После замоноличивания датчика блок с электромагнитной катушкой, установленной на его корпусе, фиксирует любые деформации.

На этапе строительства тоннеля датчики опрашивались индивидуально (в ручном режиме) с помощью портативного считывающего устройства RO-1-VW-3 или переносным цифровым периодометром ПЦП-1. В соответствии с рекомендациями по установленным струнным датчикам, представленными в программе работ, первым (нулевым) является показание после возведения крепи. Далее с учетом интенсивности проходки (отставания забоя) и изменений напряженно-деформированного состояния выполняются дальнейшие измерения.

Замоноличиваемые тензометры работают по принципу стандартных струнных датчиков: возбуждение колебаний струны и считывание результата возбуждения (преобразование колебаний в электрический сигнал) осуществляются с помощью электромагнитной катушки. Любое изменение натяжения струны приводит к изменению ее собственной частоты колебаний и прямо пропорционально значению деформации конструкции, за которой ведется наблюдение.

Замоноличиваемый тензометр (рис. 6) представляет собой герметичную трубку со струной внутри, прикрепленную с каждой стороны к круглым стальным

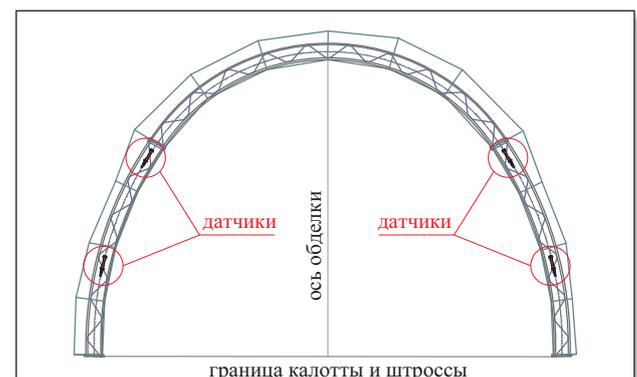


Рис. 5. Схема установки датчиков в центре поперечного сечения арматурного каркаса при возведении крепи из арматурных арок



пластинкам (фланцам), которые, в свою очередь, используются для передачи нагрузок с конструкции, за которой ведется наблюдение, на датчик. Блок с электромагнитной катушкой устанавливают в середине корпуса датчика непосредственно перед заливкой бетона. Встроенный термистор обеспечивает также запись измеренных температурных значений.

Все струнные тензометры чувствительны к изменениям температуры. Коэффициент линейной температурной зависимости струны равен  $11 \times 10^{-6}$  единиц на  $100^\circ\text{C}$ . Этот коэффициент должен быть учтен при больших температурных скачках во время мониторинга. Помимо этого, необходимо учитывать коэффициент линейной температурной зависимости бетона, составляющей от  $10 \times 10^{-6}$  до  $14 \times 10^{-6}$  единиц на  $100^\circ\text{C}$ .

В районе указанных выше опытных участков с датчиками деформаций для контроля напряженно-деформированного состояния по правой и левой стене тоннеля были размечены места для установки антенны прибора «Ангел» производства ВНИМИ с целью наблюдения за вариациями естественного электромагнитного излучения одновременно со снятием показаний датчиков (рис. 7). Эти наблюдения нацелены на переход от качественного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) массива методом ЕЭМИ к количественным прогнозным показателям, позволяющим проводить диагностику предразрушающего состояния участков массивов и удовлетворительно описывающим подготовку и изменения в структуре сигналов электромагнитного излучения, сопровождающие проявление горного давления, на различных стадиях нагружения.

Метод ЕЭМИ является косвенным методом исследований, и с его помощью нельзя напрямую оценить величины компонентов напряжений или деформаций. Чтобы использовать метод ЕЭМИ для оценок НДС массивов горных пород в окрестностях тоннелей, необходимо было установить количественные корреляционно-статистические взаимосвязи с параметрами, которые используются в механике горных пород. Для установления корреляционных связей необходимо было создать базы данных в виде временных рядов, в которые должны были входить параметры ЕЭМИ и параметры геомеханических измерений (с указанием пикетов и времени наблюдений).

Получение репрезентативных выборок для статистического анализа является основной задачей сбора и первичной обработки данных для установления корреляционных взаимосвязей между параметрами ЕЭМИ и напряженным состоянием массива. Такие взаимосвязи и должны использоваться в решении задач оценки и контроля НДС массивов горных пород и обделок тоннелей с помощью ЕЭМИ.

### **Экспериментальная часть**

При мониторинговых исследованиях важно определить критерии для прогноза перехода в критическое напряженно-деформированное состояние участков массива горных пород в окрестностях тоннеля, создающих угрозу его устойчивости. Решение этой задачи в настоящее время осуществляется комплексом геомеханических методов исследования НДС массива горных



Рис. 6. Самоличищаемый тензометр

пород и крепи и экспресс-метода регистрации ЕЭМИ бесконтактным способом для качественной оценки динамической активности массива горных пород.

При выполнении горно-экологического мониторинга на строящемся тоннеле № 6-бис в 2011–2012 гг. был выполнен комплекс одновременных измерений деформаций (напряжений) и параметров поля естественного электромагнитного излучения на замерных станциях по контролю изменений напряженно-деформированного состояния крепи с целью изучения количественной взаимосвязи параметров поля ЕЭМИ с параметрами НДС.

Изменения напряженного состояния крепи определяются по данным о смещениях и деформациях на контуре тоннеля. Методика таких определений разработана и используется при мониторинге строящихся и эксплуатируемых тоннелей НИО ОАО «Ленметрогипротранс». При таком мониторинге определяются приращения напряжений, соответствующие произошедшим относительным деформациям практически в точке наблюдения. Даже в ближайших точках деформации могут заметно различаться.

Поле ЕЭМИ образуется при изменениях НДС горных пород и является интегральным индикатором про-



Рис. 7. Прибор «Ангел» производства ВНИМИ

явлений геодинамических процессов в массиве. Для измерения параметров поля ЕЭМИ применяли переносной прибор типа «Ангела», разработанного ВНИМИ. Этот прибор регистрирует электромагнитные импульсные сигналы, которые возникают при деформировании горных пород. Амплитуда  $A_m$  поля ЕЭМИ рассчитывается как среднее арифметическое. Затем с учетом усиления это среднее арифметическое значение пересчитывается в микровольты. Параметр  $A_m$  является оценкой аномального порогового уровня пиковых амплитуд импульсов и отражает характер и интенсивность импульсного излучения пород, которая, в свою очередь, связана с интенсивностью деформирования и разрушения в зоне опорного давления подземных выработок.

При мониторинге строящегося железнодорожного тоннеля № 6-бис в 2011 г. изменение напряженного состояния бетонной крепи по всем замерным станциям на опытных участках (в сечениях 1, 2, 3 на рис. 8) оценено как незначительное (сжимающие напряжения в бетоне не превышали 2,5 МПа, или 10% от его несущей способности).

Смещения внутреннего контура крепи зафиксированы на участке Южного портала (ПК 19644+51.8), где они составили 40–50 мм. Большая часть этих смещений реализовалась в первые три дня, а затем ситуация стабилизировалась. На интервале от ПК 19643+59.0 до ПК 19643+45.0 смещения в крепи достигали 20 мм. На остальных участках смещения внутреннего контура крепи не превышали 10 мм, что сопоставимо с точностью измерений.

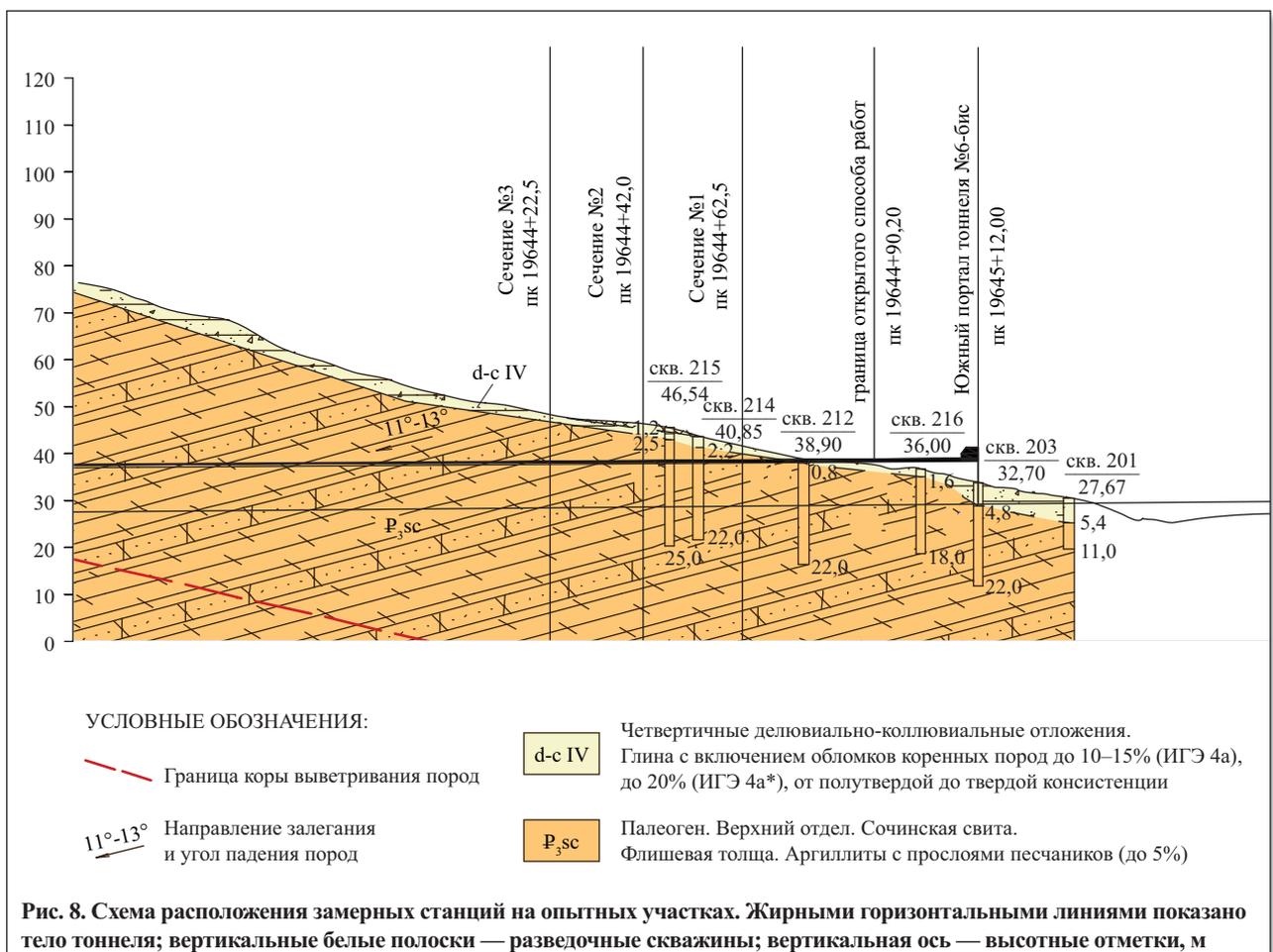
Полагая, что процессы ЕЭМИ и изменений НДС в окрестностях тоннеля являются случайными и определяются случайным характером деформирования среды и перераспределения НДС под влиянием ведения горнопроходческих работ, проведем статистический анализ взаимосвязи параметра  $A_m$  поля ЕЭМИ и напряжения  $\sigma$  по двум сечениям с датчиками деформаций в строящемся тоннеле № 6-бис.

При обработке экспериментальных данных чаще используется не функциональная связь между измеряемыми значениями разных параметров, а статистические зависимости между ними. Одной из мер линейной статистической зависимости между двумя переменными является коэффициент корреляции. Он показывает, как ярко выражена тенденция к росту одной переменной при увеличении другой. Коэффициент корреляции  $r$  изменяется в пределах от минус 1 до плюс 1. При  $r < 0$  взаимосвязь между двумя парными переменными обратная, при  $r > 0$  — прямая.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим результаты совместных определений параметра  $A_m$  поля ЕЭМИ и напряжений. В качестве примера приведем данные, полученные при измерениях в первом и втором сечениях тоннеля № 6-бис.

На рисунке 9 приведены результаты совместных определений параметров поля ЕЭМИ и напряжений в первом сечении тоннеля слева (см. рис. 8). В целом картина изменений параметров  $A_m$  и  $B$  поля ЕЭМИ во времени сложная, что видно по изрезанности графи-





ков. Однако наблюдаются периоды относительно низкого уровня поля ЕЭМИ со второй половины июня до середины июля и с 24 октября до 26 ноября. По данным деформометров в эти периоды времени отмечалась тенденция к уменьшению деформаций (напряжений). Для временных рядов  $A_m(t)$  и  $\sigma(t)$  были построены распределения (рис. 10) и рассчитаны коэффициенты корреляции. Зависимость  $\lg A_m(\sigma)$  аппроксимировалась прямой линией. Коэффициенты корреляции (рис. 11) получились равными 0,397 и 0,365 для датчиков, установленных соответственно на внешнем и внутреннем контурах арочной крепи. Таким образом, в данном примере корреляция между  $\lg A_m$  и  $\sigma$  очень низкая.

В другом примере для данных совместных определений поля ЕЭМИ и деформаций (напряжений) по правой и левой стороне тоннеля, полученных во втором сечении тоннеля с 7 июля по 20 августа 2011 г. (рис. 12), было характерно следующее. Распределения сравниваемых параметров были визуальными похожими (рис. 13), и рассчитанные коэффициенты корреляции оказались достаточно высокими (рис. 14), составив

0,599 и 0,859. Хотя эти результаты были получены по меньшей выборке данных, она оказалась более однородной по распределению значений напряжений  $\sigma$  и амплитуд  $A_m$  поля ЕЭМИ (см. графики слева на рис. 12). Кроме того, наиболее вероятным обстоятельством, обусловившим более тесную взаимосвязь ЕЭМИ и изменений НДС в крепи, в данном случае послужило активное проявление горного давления с 7 июля по 20 августа (см. рис. 12).

Для рассматриваемых временных рядов были получены следующие средние значения и их среднеквадратические отклонения:

- парные определения справа:  $\lg A_m = 1,933 \pm 0,65$ ;  $\sigma = 2,28 \pm 0,46$ ;
- парные определения слева:  $\lg A_m = 2,271 \pm 0,7$ ;  $\sigma = 0,87 \pm 0,25$ .

Уравнение регрессии, рассчитанное по 23 парным данным для второго сечения слева:

$$\sigma \text{ (МПа)} = 0,306 \cdot \lg A_m \text{ (мкВ)} + 0,233. \quad (1)$$

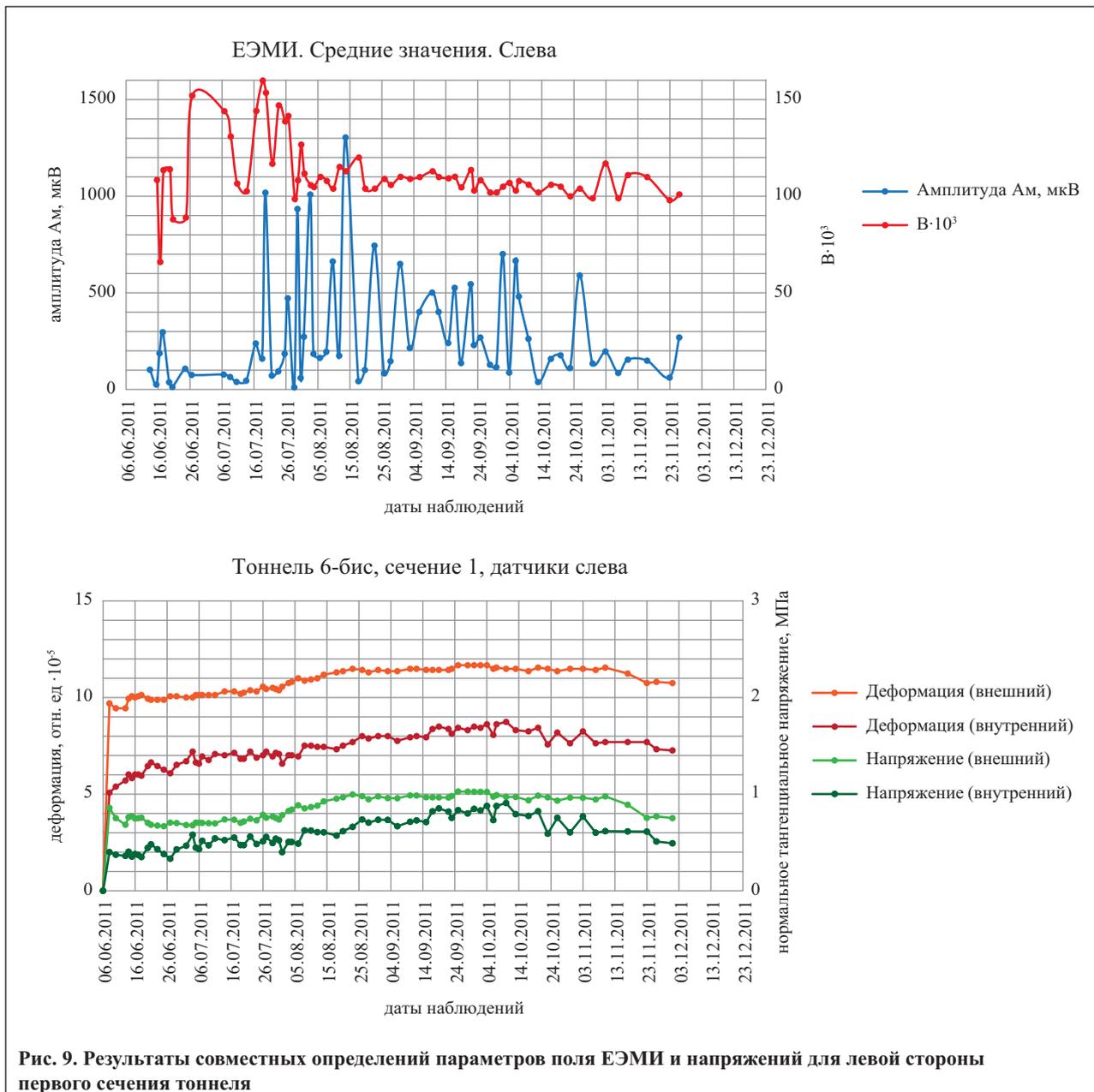


Рис. 9. Результаты совместных определений параметров поля ЕЭМИ и напряжений для левой стороны первого сечения тоннеля

Коэффициенты вариации  $V$  для рядов значений  $\lg A_m$  и  $\sigma$  меняются в пределах от 20,0 до 33,6%, что свидетельствует о том, что изменчивость их является значительной. При  $V > 33\%$  говорят о неоднозначности информации и необходимости исключения самых больших и самых маленьких значений.

Для исследуемого участка в районе расположения второго сечения слева можно проводить оценки напряжений с погрешностью порядка 15% по данным определения параметра  $A_m$  поля ЕЭМИ. Оценим достоверность — доверительную вероятность оценок  $\sigma$  по измеренным значениям  $\lg A_m$  с помощью коэффициента Стьюдента. С вероятностью 68% истинное значение  $\sigma$  не отличается от его оценки по приведенному уравнению регрессии (1) больше, чем на  $\pm 0,275$  МПа, и с вероятностью 95% — больше, чем на  $\pm 0,5$  МПа. Естественно, что выполненные оценки верны в пределах измеренных значений  $\sigma$  (от 0 примерно до 1,3 МПа) и  $A_m$  (от 0 примерно до 1300 мкВ).

Приведенные примеры совместных определений параметров поля ЕЭМИ и деформаций (напряжений)

в крепи основаны пока на небольших по объему и неоднородных по составу выборках, полученных на относительно коротком временном интервале наблюдений. Кроме того, надо иметь в виду, что зарегистрированные напряжения относительно невелики (до 10% от разрушающих нагрузок). Максимальные приращения нормальных тангенциальных напряжений, рассчитанные по данным измерений деформаций, получены по датчикам на правой стороне тоннеля: в первом сечении — 1,67 МПа, во втором — 2,92 МПа, в третьем — 1,58 МПа. Ясно, что тесная связь ЕЭМИ с напряжением именно во втором сечении связана с относительно длительным и активным протеканием здесь процессов деформирования и ЕЭМИ по сравнению с другими сечениями. Более того, в 10 м от второго сечения маршейдерской службой тоннельного отряда были зафиксированы самые заметные деформации при проходке (порядка 40–50 мм).

По геологическим данным участок тоннеля в районе первого сечения характеризуется присутствием аргиллитов с прослоями глин слабой и средней устойчи-

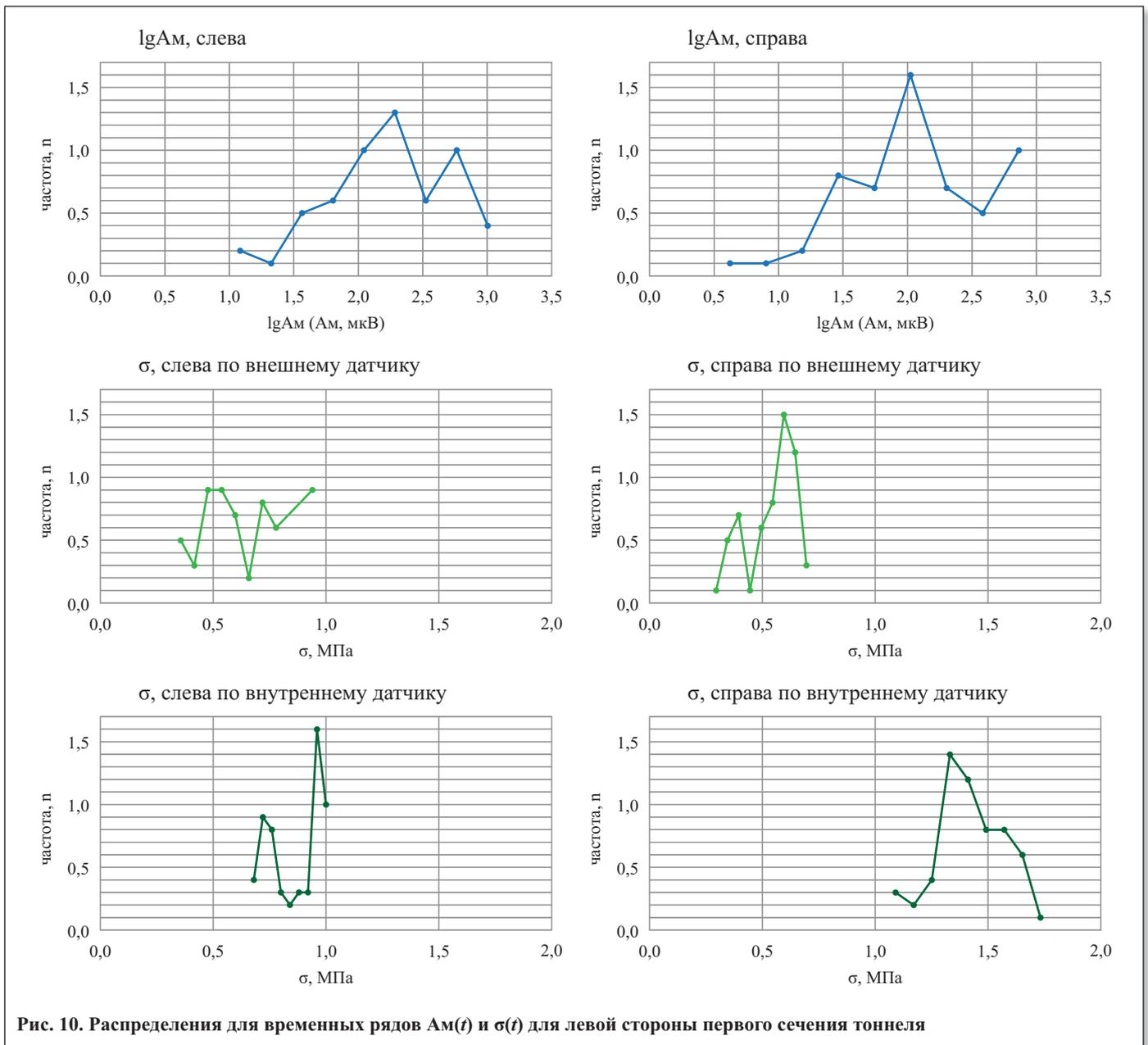


Рис. 10. Распределения для временных рядов  $A_m(t)$  и  $\sigma(t)$  для левой стороны первого сечения тоннеля



вости. Во втором сечении были встречены породы повышенной трещиноватости с прослоями среднетрещиноватых и интенсивно трещиноватых пород (в зоне тектонических нарушений). Причем слева по ходу от Южного портала и от первого сечения ко второму и да-

лее состояние пород хуже, чем на противоположной стороне. Можно отметить, что корреляция данных одновременных парных определений напряжений и ЕЭМИ получается более высокой также для данных для левой стороны тоннеля.

Ранее авторами предпринимались попытки установления взаимосвязей ЕЭМИ с деформациями [1] по данным комплексных геомеханических и геофизических исследований на одном из участков тоннеля с интенсивным развитием трещин в бетонной обделке в течение 5 лет при строительстве Северомуйского тоннеля. Тогда взаимосвязь ЕЭМИ с деформациями оказалась невысокой.

Параметры ЕЭМИ чутко реагируют на изменения НДС и в то же время подвержены влиянию факторов, напрямую не связанных с напряженно-деформированным состоянием (помех искусственного и природного происхождения). Поэтому провести полноценное статистическое исследование взаимосвязей ЕЭМИ с изменениями НДС по данным, полученным в натурных условиях, насколько известно авторам, пока не удавалось. С учетом относительно малого количества полученных парных определений параметров ЕЭМИ и НДС (причем последнее оценивается как незначительное) настоящие результаты следует рассматривать как предварительные. В дальнейшем предполагается продолжить исследования, а также усовершенствовать измерительную технику для регистрации ЕЭМИ и методику наблюдений НДС.

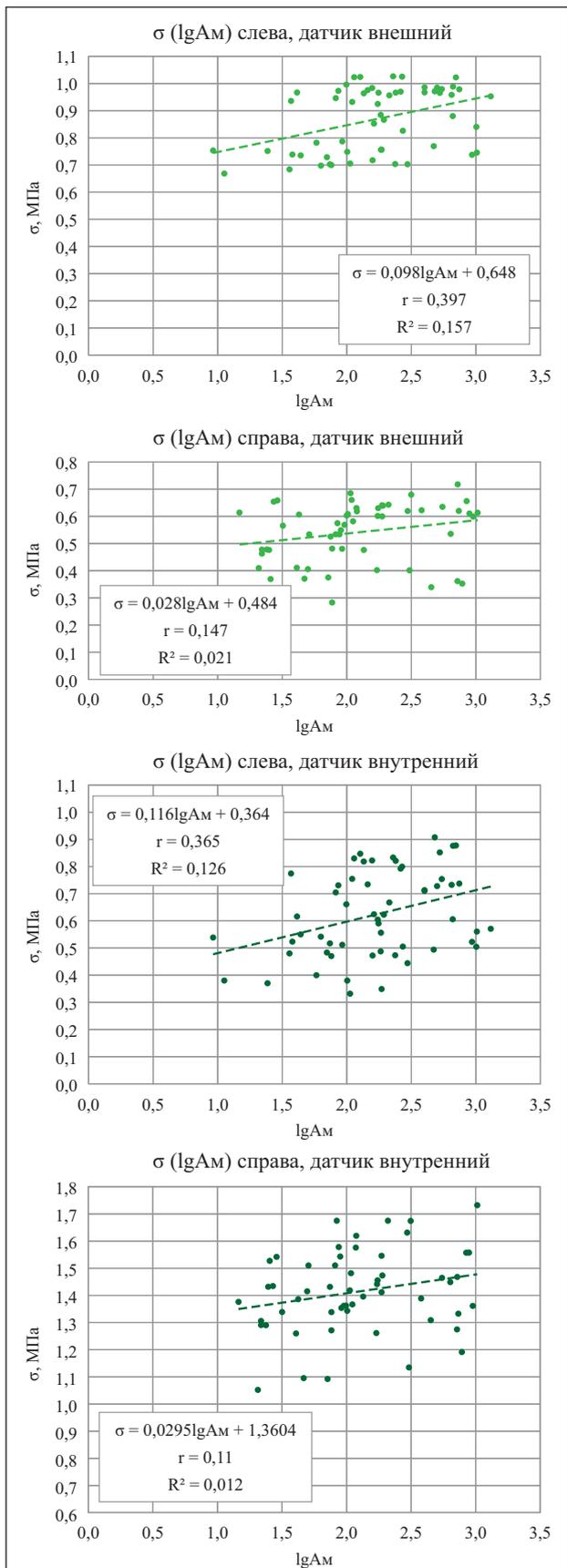


Рис. 11. Корреляционные зависимости  $\lg A_m(\sigma)$  для левой стороны первого сечения тоннеля

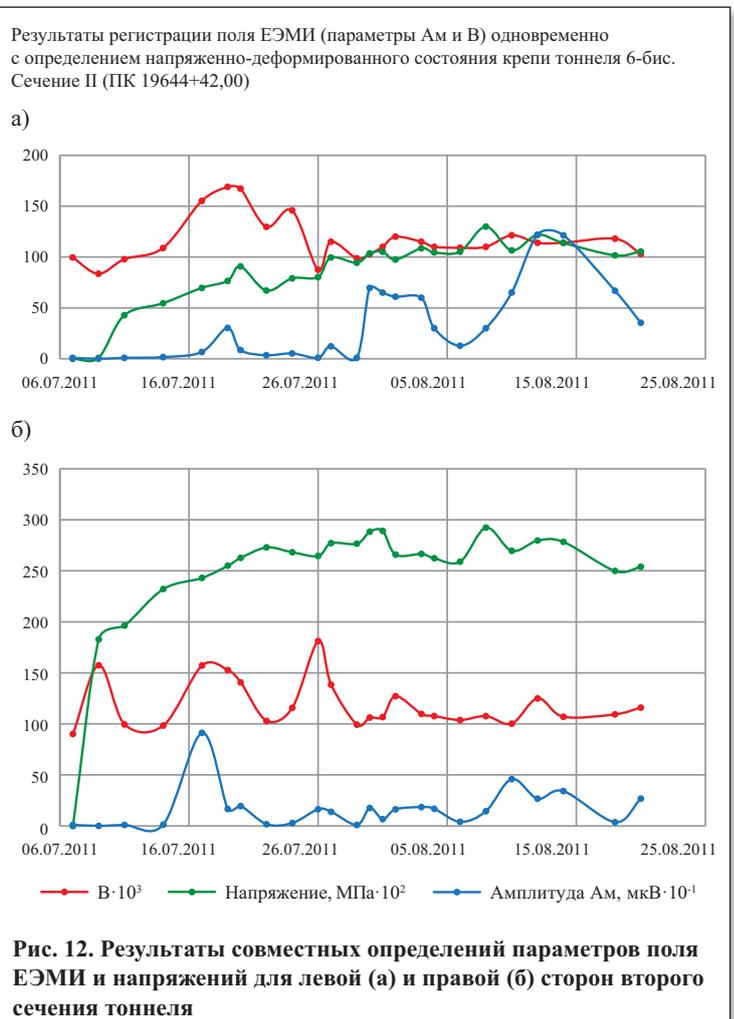


Рис. 12. Результаты совместных определений параметров поля ЕЭМИ и напряжений для левой (а) и правой (б) сторон второго сечения тоннеля

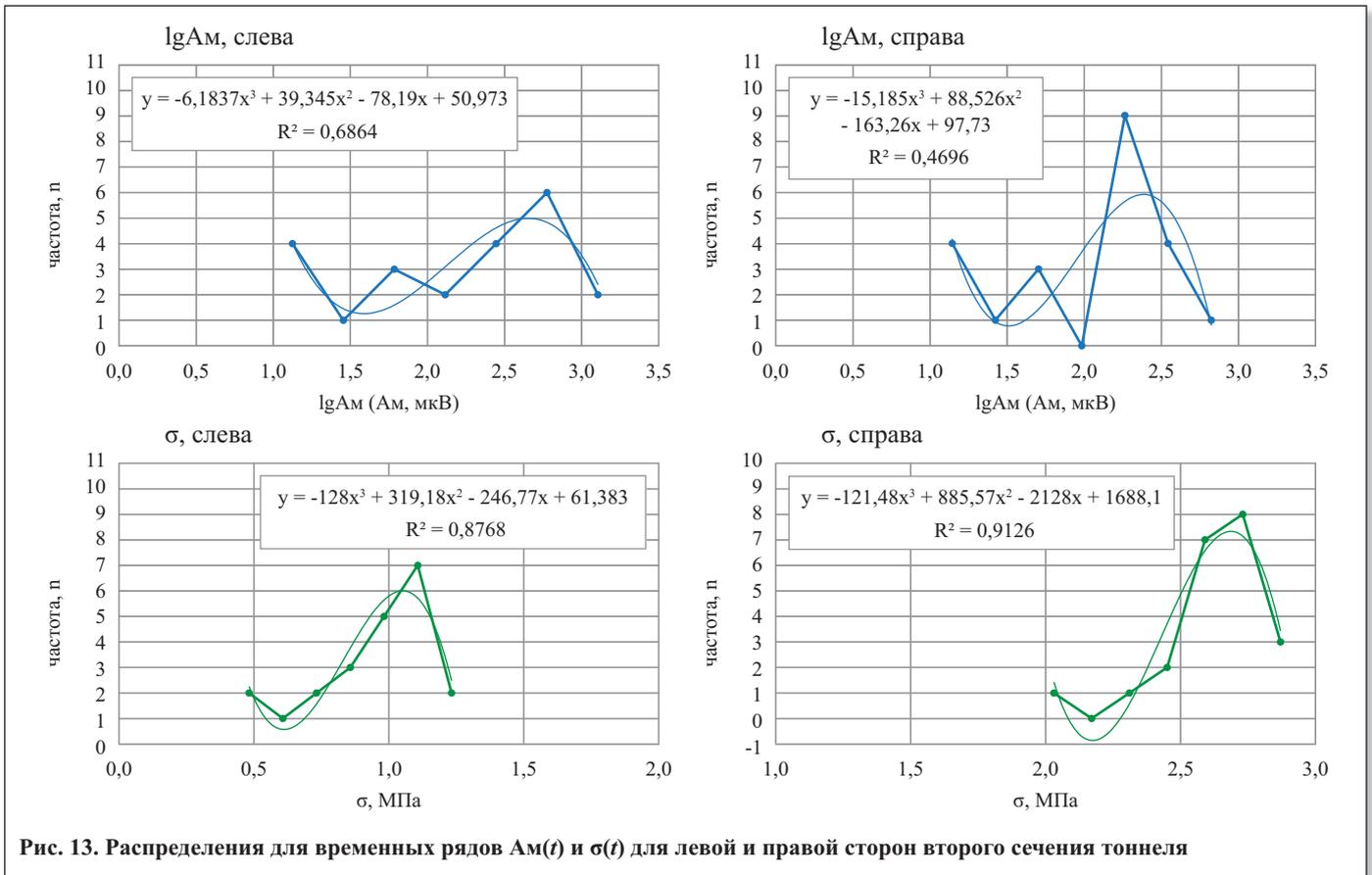


Рис. 13. Распределения для временных рядов  $A_m(t)$  и  $\sigma(t)$  для левой и правой сторон второго сечения тоннеля

### Заключение

В результате экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород при сооружении тоннеля с использованием регистрации естественного электромагнитного излучения, которое используется для качественной оценки геодинамической активности в районах тоннелей, была проделана работа по поиску корреляционных взаимосвязей параметра  $A_m$  поля ЕЭМИ с напряжениями в крепи тоннеля.

Полученные коэффициенты корреляции большей частью относительно невелики ( $\leq 0,5$ ). Самая тесная линейная связь (с коэффициентом корреляции 0,86) была установлена для случая активного деформирования на участке второго сечения по данным, полученным в июле–августе 2011 г.

Случаи относительно невысокой взаимосвязи параметров полей ЕЭМИ и НДС могут иметь самые разные причины, в том числе следующие:

- деформации (напряжения) определяются в крепи практически в точке и характеризуют изменения НДС по одной компоненте (вертикальной) и в окрестностях малого объема;
- параметры поля ЕЭМИ дают интегральную характеристику электромагнитного излучения по направлению регистрации, которое определяется ориентацией приемной антенны. В данном случае регистрировалось излучение со стороны стен.

Изменения деформаций (напряжений) в трех сечениях в 2011 г. были относительно небольшими. Напряжения в боковых сторонах тоннеля (1,74 МПа в первом сечении и 1,55 МПа в третьем), вероятно, не оказывали

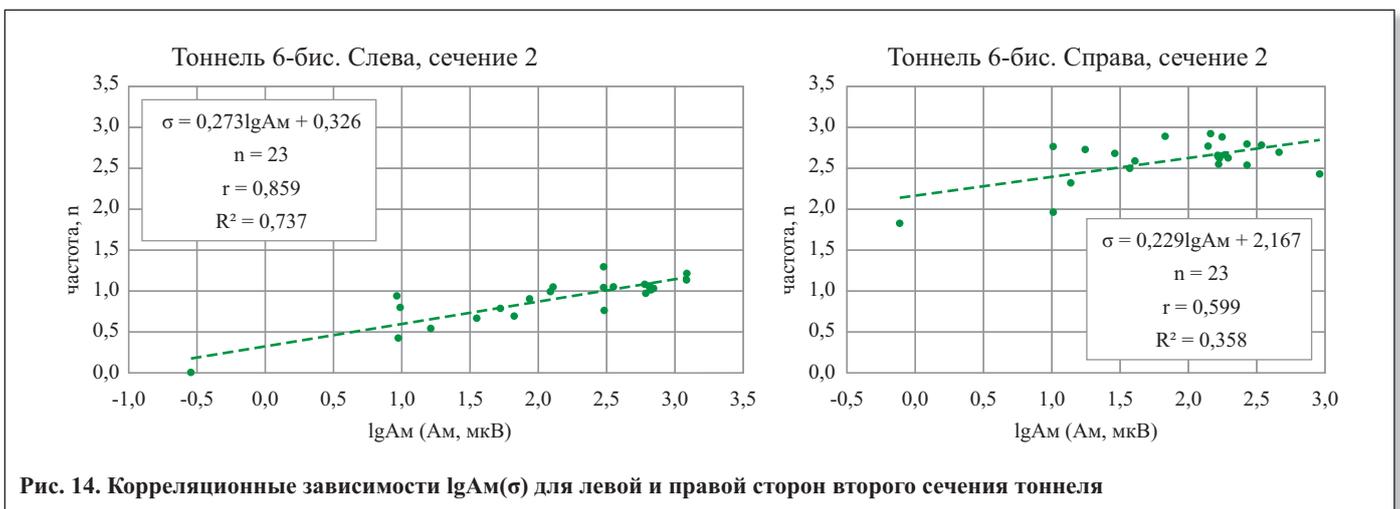


Рис. 14. Корреляционные зависимости  $\lg A_m(\sigma)$  для левой и правой сторон второго сечения тоннеля



существенного влияния на характер поля ЕЭМИ. Только во втором сечении напряженное состояние массива горных пород было несколько выше (2,75 МПа).

Исследуемые процессы ЕЭМИ и изменения деформаций (напряжений) относятся к нестационарным случайным процессам, которые происходили при напряжениях не более 10% от несущей способности крепи. Однако не все такие процессы являются строго нестационарными на всем протяжении развития. Существуют нестационарные процессы, которые на известных отрезках времени и с известным приближением могут рассматриваться как стационарные. Процессы деформирования и поведения ЕЭМИ на интервале парных измерений во втором сечении — как раз такой случай, когда процессы в период с 6 июля по 20 августа можно считать почти стационарными (с постоянным среднеквадратическим отклонением), что и определило большую тесноту связи в этом случае (с коэффициентом корреляции до 0,86).

Нерешенной проблемой остается установление взаимосвязей параметров поля ЕЭМИ для более высоких напряжений в крепи, достигающих 20–30% от ее несущей способности и особенно 50–60%, когда процесс разрушения становится необратимым. Кроме того, необходимо решать задачу идентификации сигналов ЕЭМИ, не связанных с электромагнитным излучением из очагов деформирования в массиве горных пород вблизи тоннеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безродный К.П., Исаев Ю.С., Басов А.Д., Романевич К.В. Проблемы оценки напряженно-деформированного состояния горных пород методом ЕЭМИ // Труды Всероссийской конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», посвященной 80-летию академика М.В. Курлени (с участием иностранных ученых), 3–6 октября 2011 г. Т. 1. Новосибирск: Изд-во Ин-та горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2011. С. 233–238.



Журналы представлены в flash-версиях на официальном сайте Издательского центра «Геомаркетинг»: <http://www.geomark.ru>.

Некоторые номера размещены бесплатно в режиме тестового доступа, для того чтобы визуально оценить удобство электронных версий.



С 2013 года журналы «Инженерные изыскания», «Инженерная геология», «Геориск», «Геотехника» стали доступны в электронном варианте.

Ваша компания может получить индивидуальный доступ к номерам за текущий год, а также ко всем выпускам за предыдущие годы.

Стоимость годовой электронной подписки (два логина для доступа с двух устройств одновременно):

Инженерные изыскания: 19 320 руб. Инженерная геология: 7 200 руб. Геориск: 4 800 руб. Геотехника: 7 800 руб. Стоимость онлайн-доступа ко всем журналам, включая архив: 39 120 руб.

Татьяна ФЕДОТОВА
Тел./факс: +7 (495) 366-26-84
Email: pr@geomark.ru

Ольга ИСАЙКИНА
Тел./факс: +7 (495) 366-08-85
Email: pr@geomark.ru

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ

## CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF LANDSLIDE SLOPE STABILITY CALCULATIONS

**УШАКОВ А.С.**

Аспирант кафедры инженерной геологии Российского государственного геолого-разведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), геолог ОАО «Фундаментпроект», ushakovi@inbox.ru

**USHAKOV A.S.**

Postgraduate student of the engineering geology department of the Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RGGRU), geologist of the «Fundamentproekt» OJSC, ushakovi@inbox.ru

### Ключевые слова:

оползень; оползневый процесс; устойчивость склона; методы расчета; механизмы движения; идентификационные признаки; метод круглоцилиндрической поверхности скольжения; метод конечных элементов; классификация.

### Key words:

landslide; landslide processes; slope stability; calculation methods; mechanisms of movement; identification characteristics; method of circular cylindrical sliding surface; finite element method; classification.

### Аннотация

**В статье рассматривается современное состояние проблемы расчетов устойчивости оползневых склонов, проводится сравнительный анализ различных определений и классификаций оползней, излагаются основные механизмы их скольжения, приводится классификация используемых в современной практике методов расчета устойчивости склонов с более подробным рассмотрением некоторых из них.**

### Введение

При строительстве на склонах нередко приходится прибегать к расчетам их устойчивости. Ведь неучет таких приводящих к их разрушению процессов, как оползание пород, суффозионный вынос и др., может привести к деформациям возведенных зданий и сооружений и существенному материальному ущербу, а также нанести вред жизни и здоровью людей. Поэтому при застройке склона необходим точный расчет коэффициента запаса его устойчивости, который позволит разработать мероприятия по обеспечению надежной эксплуатации проектируемых объектов.

Существует большое количество типов оползней и механизмов их движения и, соответственно, множество их идентификационных признаков и классификаций, которые необходимо точно представлять себе для точной, правильной и эффективной оценки смещения грунта и надлежащего выбора метода расчета устойчивости склона.

### Abstract

**The article discusses the current state of the problem of landslide slope stability calculations, carries out comparative analysis of various definitions and classifications of landslides, puts down the main mechanisms of their sliding, presents a classification of slope stability calculation methods used in the modern practice with a more detailed consideration of some of them.**

### Классификация оползней

Определений понятий «оползень» и «оползневый процесс» достаточно много. Наиболее часто употребляемые из них приведены в табл. 1. Анализируя эту таблицу, можно отметить, что не все авторы (Н.В. Коломенский, И.С. Комарова, К. Терцаги) разделяют термины «оползень» и «оползневый процесс». Такая ситуация нередко проявляется и в современной практике. К тому же в некоторых определениях фигурирует словосочетание «масса грунтов», что, по мнению автора, тоже не совсем корректно.

Наиболее четкое разделение указанных терминов, а также полные и всеобъемлющие определения соответствующих понятий дал В.В. Кюнтцель в 1980 году, поэтому далее в статье будем опираться именно на них.

Оползни — вторичные экзогенные геологические процессы. Они могут возникать в результате выветривания, подмыва, землетрясений, хозяйственной дея-



тельности человека и др. Распространение оползней тесно связано с геоморфологическими условиями территории и литологическим составом слагающих склоны пород.

В качестве идентификационных признаков проявлений оползневых процессов часто используют:

- оползневые трещины, которые в начальной стадии формирования оползня едва заметны, но по мере развития процесса постепенно расширяются, удлиняются и, соединяясь друг с другом, создают сплошную линию отчленения оползневого тела;
- оползневые цирки, представляющие собой выемки, образующиеся в склоне в результате оползания части грунтового массива;
- плоскости срыва, формирующиеся при отрыве массы оползающих пород;
- валы, образующиеся у подножия склона в результате клиновидного выпора пород под давлением оползающей массы;
- оползневые уступы — площадки, наклоненные обычно в сторону склона и образующиеся в результате скольжения оползневого тела по криволинейной поверхности;
- заболоченные участки с развитием болотной растительности в тыловой части уступа оползня, образующиеся за счет скопления атмосферных осадков в углублениях уступов;
- «пьяный лес» — искривленные деревья, произрастающие на оползневом склоне и принимающие наклонное положение в результате смещений грунта;
- взбугренные поверхности, образующиеся в результате эрозионного сглаживания оползневых уступов

и последующего формирования эрозионных форм рельефа;

- несовпадение положений пластов в разрезе склона и изменения азимутов их простирания;
- большое количество водопроявлений на склонах;
- наличие деформаций сооружений, расположенных в зоне влияния оползневого процесса [1].

Одна из первых классификаций оползней была предложена Ф.П. Саваренским. Он разделил оползни на три группы [10]:

- *асеквентные* — перемещающиеся по цилиндрическим поверхностям скольжения в однородных неслоистых подстилающих породах;
- *консеквентные* — перемещающиеся по имеющимся поверхностям с падением в сторону откоса;
- *инсеквентные* — перемещающиеся по поверхностям скольжения, частично (в основном в верхних зонах) проходящим поперек геологических структур.

По какому основному признаку правильно классифицировать оползни? Его, на взгляд автора, следует выбирать в зависимости от преследуемых целей. Если цели скорее практические, чем теоретические, целесообразно разделять механизмы оползневых процессов.

Под механизмом оползневого процесса понимается закономерная последовательность взаимодействия отдельных частей оползня под влиянием внешних причин в различных инженерно-геологических условиях. Современные представления о механизмах оползания лежат в основе большого количества классификаций. Их сопоставление приведено в табл. 2. Как видно из этой таблицы, все классификации развивались вместе с развитием науки и математического аппарата и, не-

Таблица 1

Определения понятий «оползень» и «оползневый процесс»			
Авторы	Год опубл.	Оползень	Оползневый процесс
В.Д. Ломтадзе	1977	Масса горных пород, сползших или сползающих вниз по склону или откосу под влиянием силы тяжести, гидродинамического давления, сейсмических и некоторых других сил	Геологический процесс, проявляющийся в вертикальном и горизонтальном смещении масс горных пород вследствие нарушения их устойчивости — равновесия
Н.В. Коломенский, И.С. Комаров	1964	Оползнями называют движение масс по склону под действием силы тяжести, связанное во многих случаях с деятельностью поверхностных и подземных вод	-
Е.М. Пашкин, А.А. Каган, Н.Ф. Кривоногова	2011	Масса грунтов, сползших или сползающих по откосу или склону	Процесс смещения масс грунта по откосу или склону вследствие естественного или искусственного удаления грунта из нижней части склона, ослабления прочности грунтов, действия гидродинамического давления подземных вод, действия сейсмических сил и др.
К. Терцаги	1932	Медленное, а также быстро развивающееся движение земляных масс на естественных склонах и откосах искусственных выемок, происходящее вследствие изменения действующих сил или изменения баланса сопротивлений	-
В.В. Кюнтцель	1980	Часть геологической среды, ограниченная земной поверхностью и поверхностью смещения, по которой без потери контакта с неподвижным основанием происходит ее перемещение на новый, как правило, более низкий гипсометрический уровень	Последовательные изменения состава, состояния и свойств оползня с момента его зарождения и перемещения на другой уровень вплоть до полного затухания, проявляющиеся в деформациях слагающих его горных пород
Е.П. Емельянова	1972	Смещение на более низкий уровень части горных пород, слагающих склон, в виде скользящего движения, в основном без потери контакта между движущимися и неподвижными породами	-

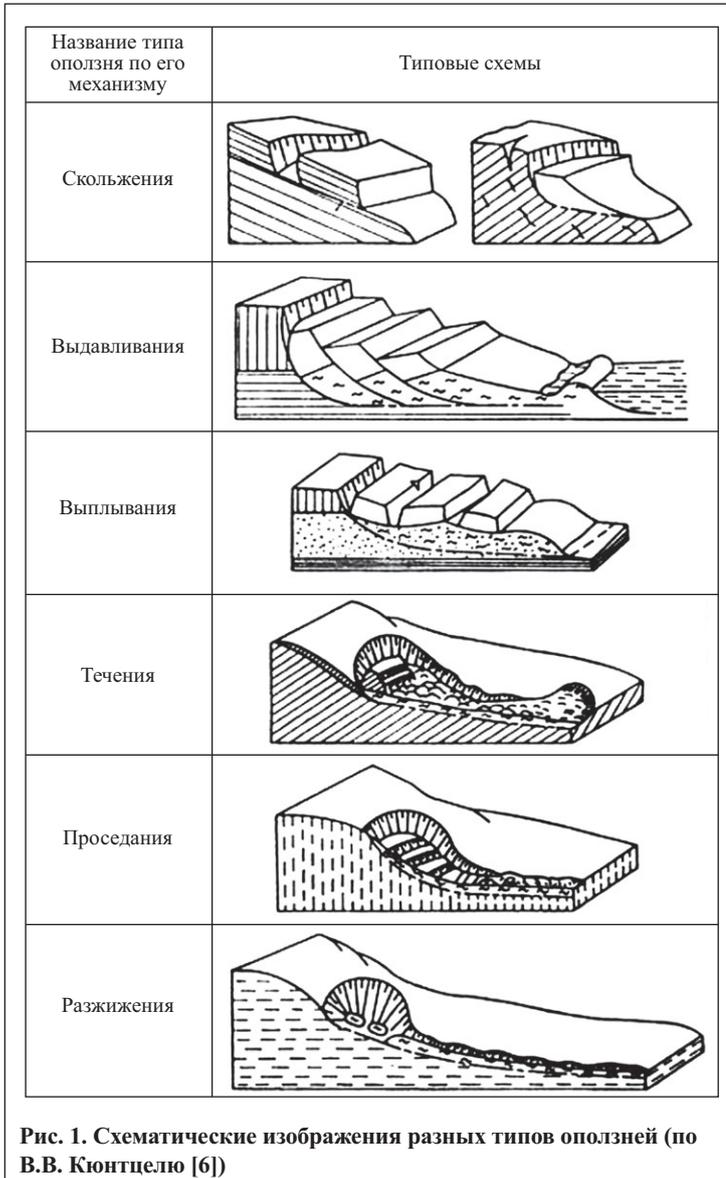


Рис. 1. Схематические изображения разных типов оползней (по В.В. Кюнтцелю [6])

смотря на различия в количестве выделяемых в них типов оползней и их наименованиях, во многом сходны. Но наиболее полной, точной и обобщающей с практической точки зрения является классификация

В.В. Кюнтцеля. Поэтому в дальнейшем за основу будет взята именно она. Рассмотрим ее более подробно.

В.В. Кюнтцель [6] разделил оползни на две группы.

Практически все оползни *группы I* относятся к категории глубоких. В основном это крупные оползни, отличающиеся блоковой структурой, отчетливо выраженной поверхностью скольжения (зоной смещения) фронтальной или циркообразной формой. Для всей группы характерна определенная последовательность развития, различающаяся для разных типов оползней в деталях. Встречаются оползни, имеющие как значительные скорости движения, так и очень небольшие, причем последние в количественном отношении преобладают [6].

Основные типы оползней представлены на рис. 1. Первые три из показанных типов (оползни скольжения, выдавливания, выплывания) относятся к группе I. Рассмотрим их подробнее.

*Оползни скольжения* являются одними из самых распространенных в природе. Они локализируются в пределах горно-складчатых областей. В платформенных условиях оползни скольжения встречаются очень редко — обычно в связи с какими-либо аномалиями геологического строения, например с наличием зоны разлома, древней коры выветривания или других зон ослабления.

Разнообразие состава деформирующихся пород и структуры горных склонов определяет различия в формах проявления оползней этого типа. В то же время их объединяет одинаковый характер деформирования склонов, проявляющийся в виде скольжения блоков пород, иногда сильно раздробленных в процессе движения, по единой поверхности смещения, часто совпадающей с плоскостями напластования, расщеливаемости пород или с тектоническими нарушениями.

В общих чертах механизм развития оползня скольжения представляется следующим образом. Возникновению первичного оползня обычно предшествует длительный процесс формирования склона, в течение которого изменяется его конфигурация, а следовательно, возрастают основные характеристики поля напряжений. Также изменяются состав, состояние и свой-

Таблица 2

Сопоставление существующих классификаций оползней по механизмам их развития [1]						
Авторы, год опубл.	Д. Варнес, 1958	М.К. Рзаева, 1969	Г.С. Золотарев, 1970	К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель, 1970	Д. Варнес, 1978	В.В. Кюнтцель, 1980
Типы оползней	скольжения	блоковые, срезающие	-	скольжения	скольжения	скольжения
		соскальзывания	соскальзывания (консеквентные)			
		сползания	-			
		выдавливания (одесского типа)	выдавливания (детрузивные)	выдавливания	выдавливания	выдавливания (сдвига)
		суффозионные, выплывания	выплывания	выплывания	-	выплывания
			суффозионные			
течения	просадочные	потоки и сплывы	проседания	течения	проседания	
	потоки (течения, оползания)		течения		течения (потоки)	
	сплывы, оплывины					
	норвежского типа	разжижения	разжижения	-	разжижения	



ства слагающих склон пород. Под воздействием собственного веса пород в отдельных частях склона образуются зоны, в которых развиваются деформации хрупкого разрушения или медленной ползучести. Последовательное преодоление максимального (пикового) сопротивления пород сдвигу в отдельных точках склона вызывает возникновение дополнительных напряжений в соседних точках, что в конечном счете приводит к прогрессирующему разрушению в зоне смещения [15].

Наличие в породах плоскостей напластования, различного рода трещин, разломов и других зон ослабления, которые в горно-складчатых областях имеют наклонное залегание, ведет к значительному ускорению оползневых деформаций [6].

Висячие оползни обычно переходят в обвалы с резким ускорением движения и частичной или полной дезинтеграцией блоков. При многослойном залегании пород и падении слоев в сторону склона образуются консеквентные оползни. В том случае, когда поверхности смещения секут слои пород, часто совпадая с различными зонами ослабления, возникают инсеквентные оползни [10].

Оползни скольжения приурочены в основном к горным районам, где присутствуют тектонические нарушения, зоны ослабления, толщи напластования. Блоки пород как бы скользят по единой поверхности смещения. Огромные по мощности и массе толщи пород создают колоссальное давление, вследствие чего возникают зоны деформации, а растущее напряжение в отдельных точках приводит к разрушению пород в зоне смещения.

*Оползни выдавливания (сдвига)* преобладают в европейской части России. Механизм их развития несколько сложнее, чем у оползней скольжения. Они возникают в горизонтально залегающих многослойных литолого-стратиграфических комплексах пород, в пределах которых четко выделяются основные деформирующиеся горизонты (ОДГ). Состав, состояние и свойства пород ОДГ в значительной степени определяют особенности механизма и динамики оползневого процесса, что позволяет по этим признакам характеризовать оползни данного типа. Однако наряду с отмеченными особенностями оползни сдвига обладают рядом общих черт, объединяющих их в одну категорию [6].

Механизм развития оползня сдвига в настоящее время представляется следующим образом. Под воздействием некоторой совокупности естественных и антропогенных факторов, среди которых особое место занимают размыв основания склона и изменение общей увлажненности пород, происходят направленные изменения напряженного состояния откоса. В результате этого склон постепенно достигает состояния предельного равновесия. При этом рост касательных напряжений в наиболее ослабленных его частях, каковыми являются ОДГ, вызывает увеличение в них деформации, что в конечном итоге приводит к нарушениям устойчивости всего оползневого склона [2]. Характер этих деформаций в основном зависит от состава и свойств пород ОДГ, а также от величины и скорости изменения напряженного состояния. На определенном этапе развития процесса по трещине закола в коренном склоне происходит отчленение блока пород, резко ускоряющее деформирование всего оползневого склона [6].

В пределах склонов, на которых развиваются оползни, выделяются три зоны, различающиеся по характеру протекающих деформаций. Первая зона (растяжения или опускания) занимает верхнюю часть. Она характеризуется постепенным отделением от коренного массива блока пород, опускающегося по сравнительно крутой трещине отрыва (растяжения). Во второй зоне (перемещения, или транзита) заметно преобладают горизонтальные составляющие векторов смещения, направления которых по всей зоне практически одинаковы, а величины уменьшаются от центра зоны к периферии. Третья зона (сжатия, или поднятия) охватывает полосу подножия склона и отдельные участки перед ним. В пределах этой зоны возрастают вертикальные составляющие векторов смещений, направленные вверх [4]. Образование зоны сжатия связано с сопротивлением еще не захваченных деформациями пород движению оползающего массива. Вследствие глубокого залегания поверхности смещения (которая не выходит на земную поверхность) образуется вал сжатия (выпирания), препятствующий дальнейшему продвижению оползня [7].

*Оползни выплывания* на территории европейской части РФ почти не описаны. Это объясняется, по-видимому, сравнительно редким их возникновением и отсутствием ярко выраженных следов их проявлений. Поэтому отдельные участки с проявлениями этих оползней остаются неразведанными, свойства связанных с их возникновением ОДГ специально не исследуются, отсутствуют какие-либо режимные наблюдения за изменениями уровней подземных вод.

В качестве ОДГ здесь обычно выступают однородные горизонтально залегающие тонкозернистые сильнообводненные пески. Возрастание при определенных условиях гидравлического градиента и связанного с ним гидродинамического давления до некоторых пороговых значений может в ряде случаев вызывать быстрое выплывание песков и, как следствие, деформации всей перекрывающей толщи [3].

Начало этого процесса, как правило, связано с размывом склона рекой, озером, морем или водохранилищем и уничтожением ранее смещенных блоков пород, экранирующих выплывающий слой. Тот же эффект может быть достигнут при вскрытии пльвунных пород искусственными выемками [3].

Текучесть песков распространяется от выхода их слоя на поверхность земли в сторону, противоположную их движению, и обычно охватывает узкую рукавообразную полосу. Такое развитие подземного потока связано со значительным увеличением пористости пород, что возможно лишь после их частичного выноса. Под влиянием суффозии ОДГ начинает разрушаться и вся вышележащая толща пород. На поверхности склона возникают многочисленные трещины, разбивающие массив на блоки, с последующим оседанием пород, движением их в сторону выпора и запрокидыванием. Оседающая поверхность в головной части оползня иногда приобретает типичную форму оползневого грабена, однако возможны и другие формы [12].

Последние три типа оползней, схематически изображенных на рис. 1 (течения, проседания, разжижения), относятся к *группе II*. Большая их часть может быть отнесена к категории поверхностных. Однако сре-

ди них встречаются оползни, во многом сходные по облику и механизму с представителями группы I.

Оползни группы II по сравнению с группой I обычно меньше по размерам, но значительно больше по распространенности и частоте проявлений. По существу, некоторые из них (оползни-потоки) имеют повсеместное распространение на территории европейской части России и 1–3-летние циклы развития.

Рассмотрим подробнее оползни этой группы.

*Оползни течения (оползни-потоки)* — одни из наиболее распространенных как в европейской части РФ, так и на всем земном шаре. Как правило, они отличаются небольшими размерами. Развиваются эти оползни в элювиально-делювиальных глинистых или крупнообломочных породах, чехлом покрывающих склоны гор, морских побережий, речных долин и оврагов. Нередко они возникают в рыхлых оползневых накоплениях и тогда часто называются оплывинами или сплывами [6].

Для многих оползней данного типа, особенно для наиболее крупных из них, характерна глетчеровидная форма. Это связано с особенностями накопления поверхностных отложений на склонах, избирательным выветриванием горных пород, неровностями коренного ложа, гидрогеологическими условиями, а также свойством оползающих рыхлых масс выработать углубления в породах подстилающей толщи, даже если последние обладают сравнительно высокой степенью уплотнения и литификации [6].

Возникновение оползней-потоков чаще всего обусловлено полной или частичной потерей первичной структуры глинистых пород вследствие значительно-го повышения их влажности. Под действием гравитационных, а в ряде случаев и гидродинамических сил происходит смещение материала по заранее подготовленной или сформировавшейся поверхности, которое сопровождается его вязкопластическим течением. Оползни-потоки с различными скоростями движутся вниз по склону обычно до тех пор, пока оползающие массы не достигнут более пологих его участков или не встретят естественную или искусственную преграду [6].

Особенности механизмов развития *оползней проседания* во многом определяются деформационным поведением лёссовых пород. Под влиянием инфильтрации атмосферных осадков возникают просадочные явления в верхней, наиболее пористой, части лёссовой толщи, а главным фактором просадочности ее нижней части является выклинивание подземных вод на склоне. Вследствие неравномерных просадок на поверхности склона возникают трещины, облегчающие проникновение атмосферных осадков вглубь склона и способствующие распространению просадочных деформаций в более глубокие слои лёссовой толщи.

В лёссах возникают зоны повышенной влажности, часто совпадающие с областями их контактов с коренными породами. При быстром смачивании лёссов их прочность может снижаться в несколько раз. В определенный момент происходит отчленение оползневого массива от остальной части склона вследствие «лавиного» разрушения структуры сильно увлажненных пород. Смещающиеся в виде отдельных блоков породы в процессе движения обычно теряют свою первичную

структуру и переходят в земляные потоки, быстро движущиеся по траектории, близкой к прямолинейной [8].

*Оползни разжижения* распространены в областях развития молодых глинистых отложений морского происхождения. Характерным свойством этих отложений является их высокая чувствительность к разрушению структуры, во много раз превышающая таковую для нормальных глин. Это происходит из-за снижения концентрации солей в поровом растворе, приводящего к снижению пределов текучести и пластичности. При нарушении структуры эти глины обладают способностью внезапно разжижаться и переходить в текучее состояние [6].

Оползни разжижения возникают внезапно, часто без видимых внешних причин. Этот процесс обычно начинается с образования в нижней части склона небольшого оползня. Затем начинают деформироваться прилегающие к нему части склона, в результате чего возникает округлая депрессия диаметром иногда до нескольких сотен метров. В ходе развития оползня резко изменяется состояние плывунных глин, которые разжижаются, вытекают через суженную горловину депрессии и с большой скоростью движутся по ложбине к ближайшему водотоку, а затем далее по его долине. Процесс завершается почти полным удалением разжиженных глинистых масс из оползневой депрессии и остановкой грязевого потока [6].

Из обеих рассмотренных групп наиболее распространены оползни скольжения, выдавливания и течения. Поэтому ниже им будет уделено наибольшее внимание.

### **Классификация методов расчета оползневых склонов**

Оценка устойчивости оползневых склонов — одна из важнейших и сложнейших задач геотехнических исследований. В ее решение большой вклад внесла и отечественная инженерная геология. Однако в последние десятилетия данное направление развивалось мало.

В качестве базиса для классификации методов расчета устойчивости склонов может лежать одна из двух предельных схем [14].

1. Идея *предельной схемы прочностных характеристик* состоит в нахождении таких критических значений параметров прочности грунта, при которых расчетный склон перешел бы в состояние предельного равновесия. Соответственно, коэффициент устойчивости при таком подходе определяется как отношение фактического значения прочностной характеристики к ее критическому значению.

2. Идея *предельной схемы удерживающих и сдвигающих усилий* заключается в изучении соотношений сдвигающих и удерживающих усилий, действующих на склон. Коэффициент устойчивости в этом случае может быть определен как отношение удерживающего момента к сдвигающему или удерживающей силы к сдвигающей [13].

Принципиальная схема классификации методов расчета устойчивости склонов, основанная на механико-математическом подходе, представлена на рис. 2. Группы методов численного моделирования устойчивости склонов, которые постоянно развиваются и совершен-



ствуются в связи с их интенсивным использованием (например, основанные на анализе предельного равновесия и на законах механики сплошной среды), показывают достаточно хорошую сходимость получаемых результатов [13].

### Примеры методов расчета устойчивости склонов

Рассмотрим более подробно некоторые из методов расчета устойчивости склонов, результаты использования которых дают неплохую сходимость.

Одним из наиболее популярных в строительной практике является *метод круглоцилиндрической поверхности скольжения* (существует большое количество его разновидностей — методы Бишопа, Фелле-ниуса, «Корпуса инженеров № 1» и др.). Его целесообразно применять, когда откос сложен однородными грунтами. Данный метод предполагает, что сползание грунта может произойти лишь в результате вращения оползающего массива вокруг центра  $O$  (рис. 3). Следовательно, в разрезе поверхность скольжения  $BB$  будет представлена дугой окружности радиусом  $r$  с центром в точке  $O$ . Оползающий массив при этом рассматривается как некоторый твердый блок, всеми своими точками участвующий в одном общем движении [9]. Он находится под действием двух моментов — вращающего ( $M_{вр}$ ) и удерживающего ( $M_{уд}$ ) массив. Их отношение представляет собой коэффициент устойчивости склона  $K_y$ . Вращающий момент определяется умноже-

нием значения сдвигающей силы на длину плеча от центра вращения  $O$ , а удерживающий момент — умножением силы сопротивления сдвигу на аналогичное плечо. При этом, т.к. угол наклона касательной к поверхности скольжения и вес отдельных частей массива непостоянны, приходится расчленять воображаемый оползневой массив (сползающий блок) на  $n$  расчетных отсеков и для каждого из них определять силы сопротивления сдвигу и сдвигающие силы. Тогда коэффициент запаса устойчивости склона  $K_y$  находится как отношение сумм тех и других моментов:

$$K_y = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{вр}} \quad (1)$$

Поскольку грунтовые воды оказывают взвешивающее влияние на породы и фильтрационное (гидродинамическое) давление на весь массив, окончательный вид формул для определения коэффициента устойчивости будет следующим:

при отсутствии грунтовых вод:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot tg \phi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i \cdot \sin \alpha_i + F_{ci})} \quad (2)$$

при простом затоплении:

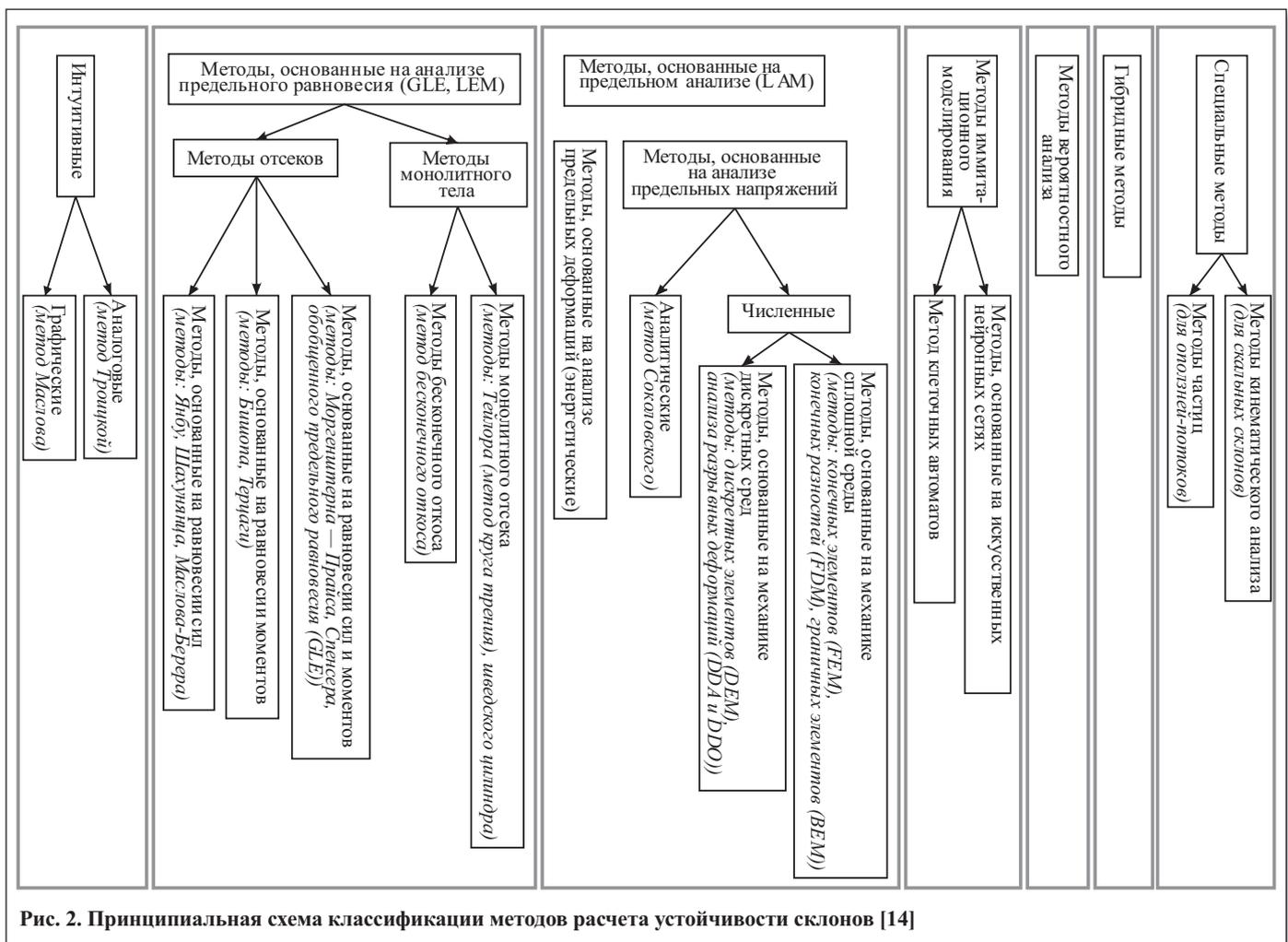


Рис. 2. Принципиальная схема классификации методов расчета устойчивости склонов [14]

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_{Ei} \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_{Ei} + c_{Ei} \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} (P_{Ei} \cdot \sin \alpha_i + F_{ci})}, \quad (3)$$

где  $i, n$  — соответственно номер блока и расчетное количество блоков, на которые разбивается оползневый массив;  $P_i$  — вес  $i$ -го блока, кН;  $P_{Ei}$  — то же с учетом взвешивающего действия воды, кН;  $P_i \sin_i$  или  $P_{Ei} \sin_i$  — сдвигающее усилие (, см. рис. 3);  $\alpha_i$  — угол наклона поверхности скольжения  $i$ -го блока к горизонту, град.;  $\varphi_i$  — угол внутреннего трения грунта в  $i$ -м блоке, град.;  $\varphi_{Ei}$  — то же с учетом взвешивающего действия воды, град.;  $c_i$  — удельное сцепление грунта, кПа;  $c_{Ei}$  — то же с учетом взвешивания водой, кПа;  $l_i$  — длина отрезка дуги скольжения в пределах  $i$ -го блока, м;  $F_{ci}$  — сейсмическая сила, кН.

Кроме участвующих в приведенных выше формулах сил, в грунтовом массиве имеются еще неизвестные по величине силы бокового давления грунта на вертикальные грани отсеков. Последние силы являются внутренними по отношению ко всему сползающему массиву и внешними по отношению к отдельным выделенным элементам. Так как независимо от их направлений и величин сумма всех вертикальных сил должна быть равной общему весу сползающего клина, в методе круглоцилиндрической поверхности скольжения принимается, что силы бокового давления, действующие на вертикальные грани отдельных элементов грунта, можно не учитывать при определении условий равновесия всего сползающего массива [9].

Все разновидности метода круглоцилиндрической поверхности скольжения сравнительно эффективны при оценке степени устойчивости склонов, но не очень подходят для определения величины оползневой нагрузки.

Одним из наиболее эффективных современных способов решения инженерных, физических и мате-

матических нелинейных задач с использованием вычислительной техники является *метод конечных элементов (МКЭ)*. Это численный метод решения дифференциальных уравнений. Он основан на использовании вариационного принципа Лагранжа. Идея построения вариационно-разностной схемы состоит в том, что при специальном выборе координатных функций получают систему линейных алгебраических уравнений, совпадающих по структуре с системой разностных уравнений [5].

Поверхностные силы, действующие на изучаемую область, представленную системой, состоящей из конечного числа элементов, прикладываются только к узлам, расположенным на внешнем контуре этой области. Объемные силы вычисляются исходя из размеров и плотности элементов и в виде сосредоточенных сил прикладываются к их вершинам.

Основа концепции МКЭ — это разбиение математической модели конструкции на непересекающиеся компоненты простой геометрии, называемые *конечными элементами*. Множество элементов, на которые разбита конструкция, называется *конечноэлементной сеткой*. Механическое поведение каждого элемента выражается с помощью конечного числа степеней свободы или значений функций в узловых точках. Таким образом, поведение математической модели определяется поведением дискретной модели, которая получена путем сборки всех элементов [11].

Основные типы конечных элементов и их свойства называются *атрибутами элементов*. Такими атрибутами являются: собственная размерность, узловые точки, геометрия элементов, степени свободы, узловые силы, определяющие соотношения, свойства сечений [11].

Также задаются *граничные условия*. С позиций математической физики для используемых дифференциальных уравнений граничные условия делятся на два основных типа — существенные и естественные. С позиций метода конечных элементов существенные граничные условия непосредственно влияют на степени свободы модели и накладываются на компоненты глобального вектора неизвестных, а естественные опосредованно влияют на степени свободы через глобальную систему конечноэлементных уравнений и накладываются на их правые части.

При решении задач механики сплошной среды, в частности с использованием теории упругости, широко применяются *смешанные граничные условия*. Это означает, что в данной точке поверхности тела одновременно заданы некоторые компоненты перемещений и поверхностных сил. Например, такие условия возникают при решении геометрически симметричных задач [11].

МКЭ делится на три основных блока: (1) *идеализация* — процесс перехода от исходной физической системы к математической модели; (2) *дискретизация* — уменьшение числа степеней свободы до конечного значения, в результате чего получается дискретная модель; (3) *решение*, которое может быть получено аналитическим или численным путем. Аналитические решения могут быть применены к широкому классу задач, поскольку выражаются в символической форме.

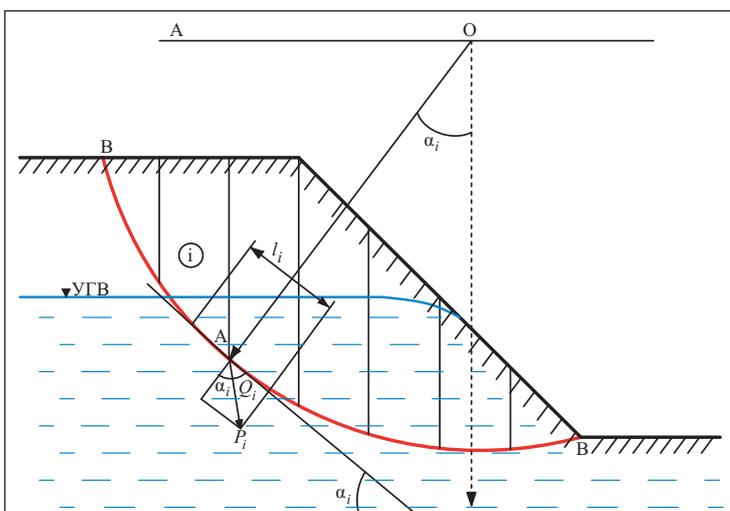


Рис. 3. Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения. Условные обозначения: BB — поверхность скольжения;  $i$  — номер блока оползневой массы;  $l_i$  — длина отрезка дуги скольжения в пределах  $i$ -го блока;  $\alpha_i$  — угол наклона поверхности скольжения  $i$ -го блока к горизонту;  $P_i$  — равнодействующая всех активных сил, приложенных к  $i$ -му блоку;  $Q_i$  — сдвигающее усилие



## Заключение

В статье были рассмотрены классификационные типы оползней, механизмы их образования, скольжения и поведения. Также была проанализирована классификация методов расчета устойчивости оползневых склонов и описаны наиболее эффективные из них. Очевидно, что один и тот же метод расчета не может быть при-

меним ко всем типам оползней, т.к. имеются существенные различия в механизмах их поведения. Кроме того, оползни одного и того же типа могут вести себя по-разному в разных инженерно-геологических условиях. Поэтому встает вопрос об исследовании применимости существующих методов расчета устойчивости склонов в различных инженерно-геологических условиях, который будет рассмотрен в последующих публикациях. ☞

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.Я. Инженерная геодинамика: учебник. М.: КДУ, 2009. 440 с.
2. Емельянова Е.П. К вопросу о механизме и причинах оползней у г. Одессы // Труды Одесского ун-та. Сер. геол. и геогр. 1960. Т. 150. Вып. 7. С. 25–41.
3. Емельянова Е.П. О суффозионных оползнях // Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии. 1968. Вып. 8. С. 4–20.
4. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневого процесса. М.: Недра, 1972. 310 с.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 539 с.
6. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на европейской территории СССР. М.: Недра, 1980.
7. Науменко П.Н. Закономерности развития и механизм катастрофических оползневых смещений на Одесском побережье // Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии. 1968. Вып. 8. С. 50–55.
8. Ниязов Р.А. Оползни в лессовых породах юго-восточной части Средней Азии. Ташкент: Фан, 1974. 148 с.
9. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. М.: Центральное бюро научно-технической информации, 1986.
10. Саваренский Ф.П. Опыт построения классификации оползней // Труды I Всесоюзного оползневого совещания. Л. — М.: ОНТИ, 1935.
11. Строкова Л.А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов: учебное пособие для студентов. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 143 с.
12. Терцаги К. Инженерная геология. М.: Горгеонефтеиздат, 1934. 452 с.
13. Федоров И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов. М.: Госстройиздат, 1962. 317 с.
14. Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Комплексная методика расчета устойчивости склона // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований — 2011». Одесса: Черноморье, 2011. 88 с.
15. Skempton A.W. Long-term stability of clay slopes // Geotechnique. 1964. V. 14, № 2. P. 77–101.

**ЖУРНАЛ**

- о людях
- о землетрясениях
- о неустойчивых склонах и оползнях
- о вулканах
- о наводнениях и ураганах
- ...
- о прогнозировании и предупреждении ЧС
- о важности работы изыскателей

**ЖУРНАЛ**  
**GeoРиск**

Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095  
e-mail: [pr@geomark.ru](mailto:pr@geomark.ru)



# ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

## ASSESSMENT OF LANDSLIDE SLOPE STABILITY ON THE BASIS OF 3D MODELING

**ГАВРИЛОВ А.В.**

Аспирант кафедры инженерной и экологической геологии  
геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,  
gavrilov1alex@gmail.com

**GAVRILOV A.V.**

Postgraduate student of the engineering and ecological geology department  
of the geology faculty of the Lomonosov Moscow State University,  
gavrilov1alex@gmail.com

### **Ключевые слова:**

оползень; оценка устойчивости склонов; двумерное моделирование; трехмерное моделирование; коэффициент устойчивости; дефицит устойчивости; расчетный метод Ховланда.

### **Key words:**

landslide; slope stability assessment; two-dimensional modeling; three-dimensional modeling; stability factor; stability deficit; Hovland's computational method.

### **Аннотация**

**В статье рассматриваются двух- и трехмерные расчеты устойчивости склонов и проводится их сравнение. Также описываются преимущества трехмерного метода расчета перед двумерным. Рассмотрена полученная автором схема распределения дефицита устойчивости оползневого тела.**

### **Введение**

В настоящее время трехмерное моделирование находит все большее применение как в геологии в целом, так и в инженерной геологии в частности. В связи с этим встает вопрос о возможности использования получаемых на его основе данных в практических целях. В других отраслях геологии (гидрогеологии, поисках и разведке полезных ископаемых и др.) трехмерное моделирование уже заняло лидирующие позиции как способ представления данных и их обработки.

Данная работа посвящена применению трехмерного моделирования для оценки устойчивости склонов. Ее основной целью является сравнение методов трехмерного расчета устойчивости оползневых тел с уже рекомендовавшими себя методами оценки устойчивости в плоском сечении.

### **Характеристика инженерно-геологических условий оползневого участка**

Сравнение трехмерных и двумерных методов расчета устойчивости склона и оценка возможности применения первых проводились на примере оползневого участка, находящегося в районе северных порталов комплекса тоннелей № 3 совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» (в нижней части северного склона горы Высокая в пределах левого борта долины реки Мзымта в ее среднем течении напротив впадения реки Кепша). В геологическом строении этого участка принимают участие отложения нижнего отдела меловой системы, а также четвертичные (рис. 1).

Меловые апт-альбские отложения на склоне практически целиком перекрыты оползневыми телами, а стенки отрыва оползней — делювиальными грунтами значительной мощности. Толща меловых отложений имеет циклическое строение и представлена ритмично чередующимися мергелями, алевритами и глинистыми мергелями, которые падают в сторону склона. По своему стратиграфическому объему эти грунты соответствуют

### **Abstract**

**The article discusses and compares two- and three-dimensional slope stability calculations. It also describes advantages of the three-dimensional computational method over the two-dimensional one. A scheme of distribution of landslide body stability deficit that was constructed by the author is considered.**



свите Кепш ( $K_1kr$ ). К меловым отложениям приурочены трещинные воды, которые встречаются в зонах повышенной трещиноватости. Эти воды, как правило, слабонапорные. Величина напора в среднем составляет 4–5 м.

Четвертичные грунты оползневого участка представлены современными делювиальными и оползевыми отложениями, перекрывающими свыше 80% склона, а также современным аллювием.

Современные аллювиальные отложения приурочены к руслу и пойме реки Мзымта. Они представлены галечниковыми и валунно-галечниковыми грунтами с песчано-супесчано-суглинистым заполнителем. Их мощность — от первых метров до 25 м и более. К аллювиальным отложениям приурочен водоносный горизонт, который распространен в русловой и пойменной части долины Мзымты. Его воды либо безнапорные, либо имеют местный незначительный напор.

Оползневые отложения представляют собой смесь из обломков и целых блоков меловых пород, суглинков и глин различной консистенции с содержанием обломочного материала от 0 до 30%, дресвяных и щебнистых грунтов с различным количеством заполнителя. Переслаиваются эти грунты без всякой закономерности. Их мощность достигает 32 м.

Поверхность скольжения по данным бурения представляет собой грунт от суглинка до глины с дресвой и щебнем мергеля (до 10–15%) от мягкопластичной до текучей консистенции. Ниже грунтов зоны скольжения залегают мергели апт-альбского яруса с элементами залегания, характерными для коренных отложений, а выше — дресвяно-щебнистые грунты и отдельные блоки меловых пород. К крупнообломочным прослоям и линзам в зоне скольжения, а также к дресвяно-щебнистым грунтам выше поверхности скольжения приурочены водопроявления, которые были отмечены при бурении.

В современных оползневых отложениях выделено несколько водоносных горизонтов — как безнапорных,

так и с небольшим напором. Водовмещающими породами являются линзы и прослои щебнистых и дресвяных грунтов. Водоносные горизонты невыдержанны, часто не связаны между собой.

Питание водоносных горизонтов в оползневом массиве происходит как за счет инфильтрации атмосферных осадков, так и за счет разгрузки трещинных вод из подстилающих пород мелового возраста.

Делювиальные отложения распространены на оползневом участке локально и представлены суглинками и глинами с включением дресвы и щебня. Их мощность изменяется от 1,5 до 15,0 м.

Исследуемое оползневое тело находится непосредственно в районе северных порталов вышеуказанного комплекса тоннелей. Оползень характеризуется блоковым строением и имеет протяженность по оси смещения 170 м при ширине до 100 м. Его общий объем достигает 200 тыс. м<sup>3</sup> (рис. 2). Вблизи стенки отрыва и нижней части оползневой массы отмечаются признаки оползневой активности (трещины отрыва, «пьяный лес» и др.).

### Схематизация инженерно-геологических условий

Для расчетов и анализа устойчивости оползневой массы необходимо перейти от описания природной ситуации к упрощенной схеме, подходящей для выполнения расчетов, путем схематизации инженерно-геологических условий оползневой массы.

Исходя из описанных выше инженерно-геологических условий и данных, полученных при изучении оползневой массы и прилегающего к нему участка склона, в модели было выделено два объекта — само оползневое тело и окружающий его массив.

Построение трехмерной модели оползневой массы основывается на следующих положениях:

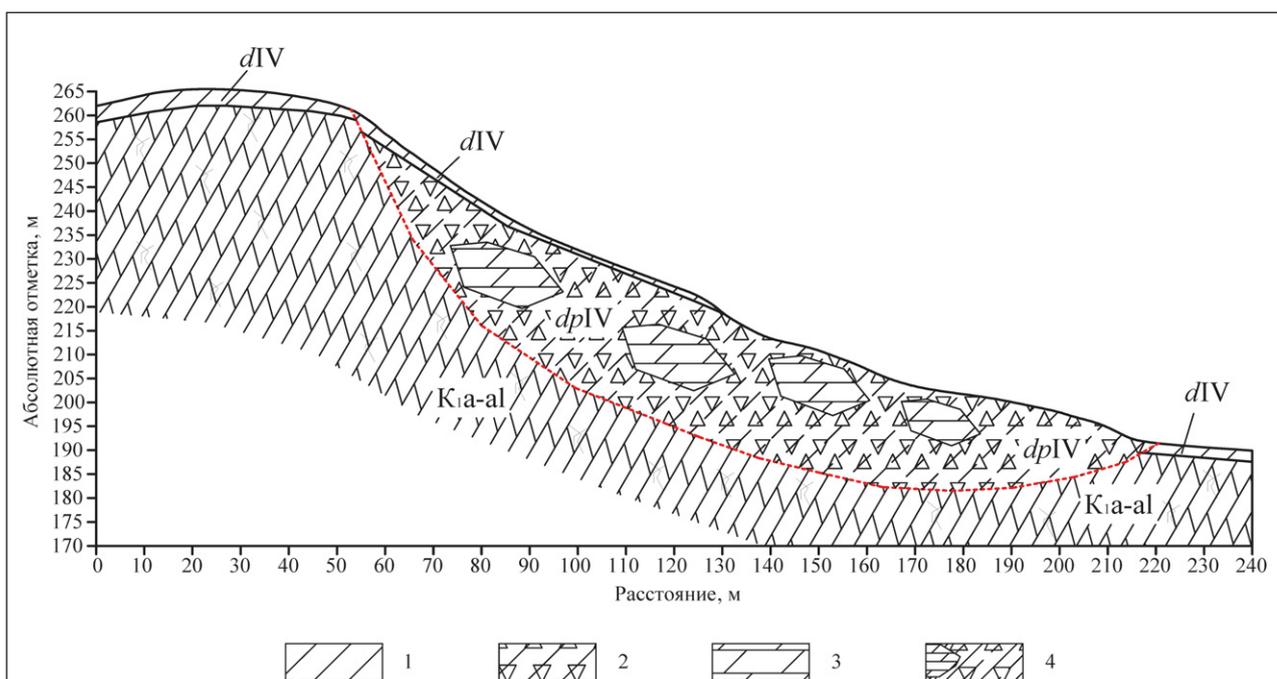


Рис. 1. Схематический разрез I—I (рис. 2) оползневой массы: 1 — суглинок, 2 — щебнистый суглинок, 3 — мергель, 4 — обломки и глыбы мергелей в щебнистых суглинках

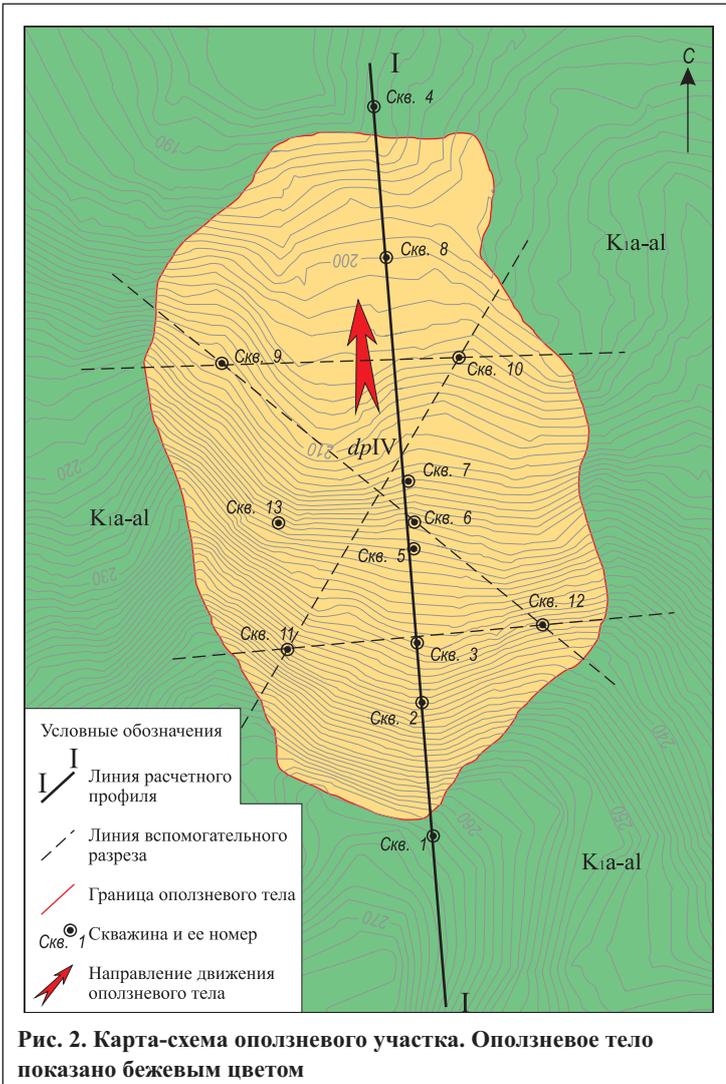


Рис. 2. Карта-схема оползневого участка. Оползневое тело показано бежевым цветом

- кровля оползневого тела в области его распространения совпадает с поверхностью рельефа;
- подошва оползневого тела совпадает с подошвой выделенной зоны скольжения;
- кровля меловых отложений совпадает с поверхностью рельефа вне области распространения оползневого тела и с подошвой зоны скольжения в этой области;
- наличие грунтовых вод в модели не учитывается.

На основе данных, полученных при геодезической съемке рассматриваемого участка, была построена модель поверхности рельефа (рис. 3).

Информация о поверхности скольжения оползневого тела была получена из двух различных источников — из описаний горных выработок и из результатов съемки, на основе которой было с достаточной точностью околонушено оползневое тело. В разрезе зона скольжения выделялась по следующим характерным признакам:

- переход от неоднородной дезинтегрированной толщи суглинков и глин с обломками и блоками мергелей к однородно слоистой (под углом  $60\text{--}70^\circ$  к оси керна) толще мергелей;
- наличие глин и суглинков от мягкопластичных до текучих, располагающихся выше толщи мергелей, аналогичной по элементам залегания коренным отложениям (по данным геологических карт района);
- обводнение отложений выше зоны скольжения, а также непосредственно в этой зоне по линзам и прослоям крупнообломочных грунтов.

Кроме того, помимо расчетного профиля для наиболее правильного и обоснованного построения трехмерной поверхности скольжения было получено и учтено четыре вспомогательных профиля (см. рис. 2)

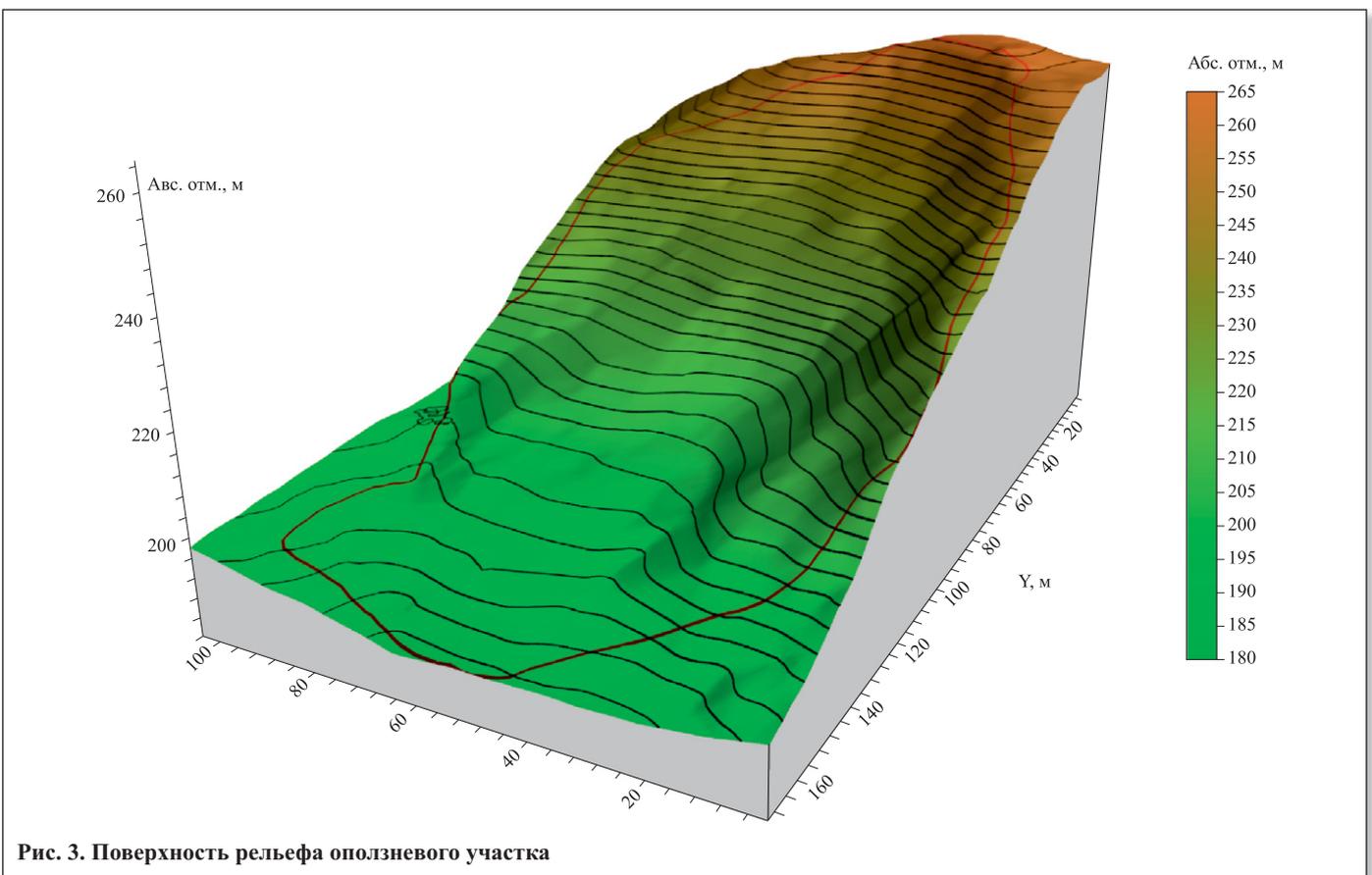


Рис. 3. Поверхность рельефа оползневого участка

Таблица 1

Свойства грунтов оползневого участка					
Тип грунта	Залегание	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутр. трения $\phi$ , град.	Удельн. сцепл. $c$ , кПа	Условия испытаний
Мергель	коренное	2,51	42	5050	Естественное состояние
			58	1750	Водонасыщенное состояние
	в оползневом теле	2,45	50	4450	Естественное состояние
			52	970	Водонасыщенное состояние
	в зоне скольжения	2,23	22	45	Естественное состояние
			16	12	Срез по подготовленной поверхности
Суглинок	в оползневом теле	2,21	22	70	Естественное состояние
			16	10	Срез по подготовленной поверхности
	в зоне скольжения	2,23	19	30	Естественное состояние
			16	5	Срез по подготовленной поверхности

В результате обобщения этих данных была построена поверхность скольжения оползневого тела, которая представлена на рис. 4.

Следующей задачей после построения поверхностей скольжения и рельефа в модели оползневого склона было определение свойств, необходимых для расчетов устойчивости в пространстве этой модели.

Исходя из геологического строения участка и консеквентного механизма смещения оползня, для апробации нового способа трехмерного расчета устойчивости склона было решено считать оползневое тело однородным, изотропным и сплошным, а перемещение — происходящим без разрыва его сплошности и

деформации. Так как поверхность скольжения неоднородна по своему строению (от глин и суглинков до крупнообломочных разностей), расчеты устойчивости проводились с использованием возможных максимальных, минимальных и промежуточных значений прочностных характеристик грунтов.

Каждое состояние грунта характеризуется своими значениями показателей его свойств (плотности, сцепления, угла внутреннего трения), необходимых для расчетов устойчивости. Кроме параметров, присущих естественному состоянию грунтов, были определены показатели их физико-механических свойств в «ухудшенных» условиях: для мергелей в коренном залегании —

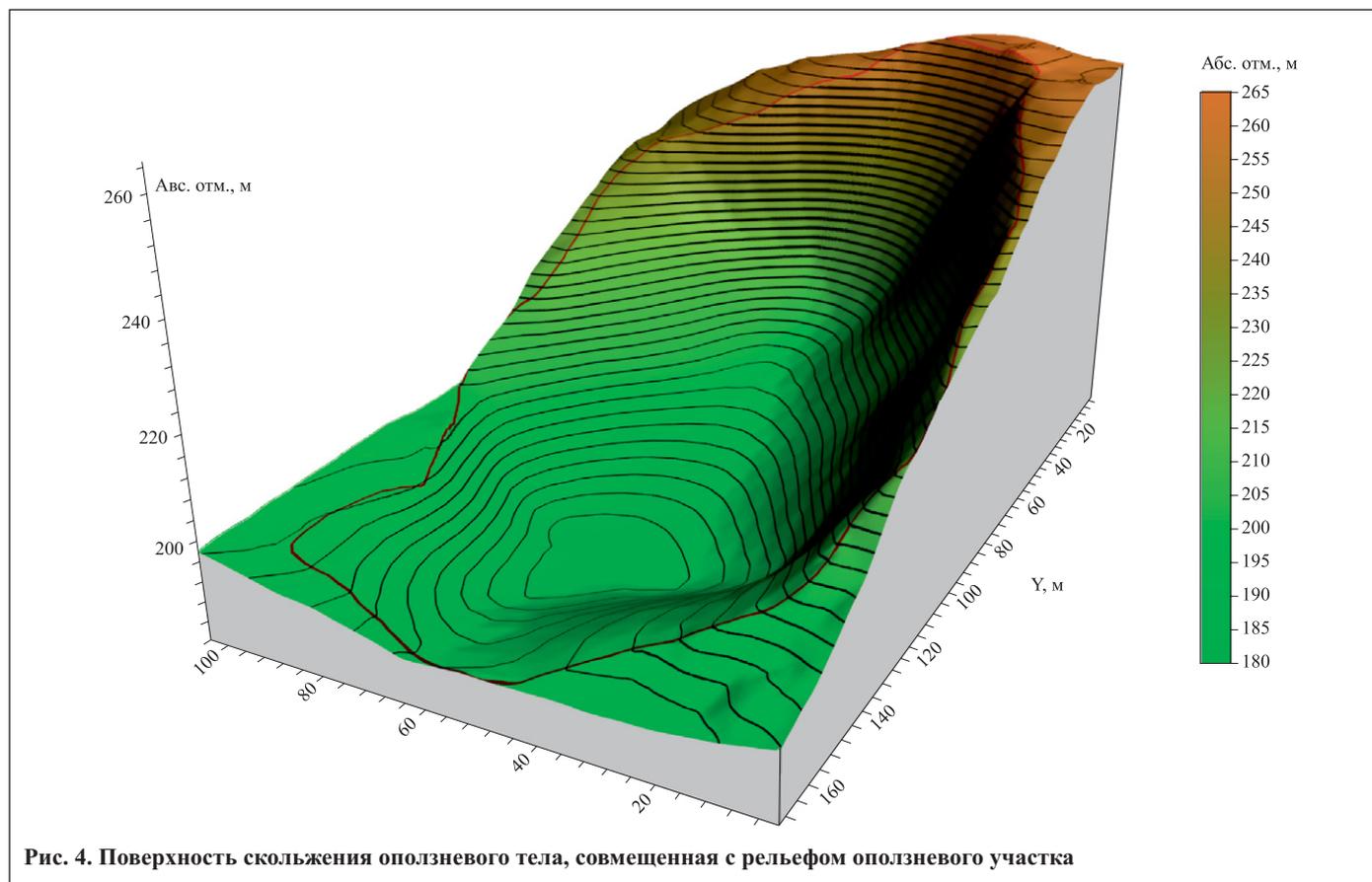


Рис. 4. Поверхность скольжения оползневого тела, совмещенная с рельефом оползневого участка

Таблица 2

Коэффициенты устойчивости оползневого тела, рассчитанные методом Ямбу при разбиении оползневого тела на 17 (в числителе) и 168 (в знаменателе) блоков								
Тип грунта	Залегание	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Мергель		Суглинок			
			в зоне скольжения		в оползневом теле		в зоне скольжения	
			в естественном сложении	по подготовленной поверхности	в естественном сложении	по подготовленной поверхности	в естественном сложении	по подготовленной поверхности
Мергель	коренное	2,51	$\frac{1,73}{1,77}$	$\frac{1,07}{1,08}$	$\frac{1,97}{2,02}$	$\frac{1,04}{1,06}$	$\frac{1,44}{1,47}$	$\frac{0,98}{0,99}$
	в оползневом теле	2,45	$\frac{1,74}{1,78}$	$\frac{1,07}{1,09}$	$\frac{1,98}{2,03}$	$\frac{1,04}{1,06}$	$\frac{1,45}{1,48}$	$\frac{0,98}{0,99}$
	в зоне скольжения	2,23	$\frac{1,78}{1,83}$	$\frac{1,08}{1,10}$	$\frac{2,04}{2,10}$	$\frac{1,05}{1,07}$	$\frac{1,47}{1,50}$	$\frac{0,98}{1,00}$
Суглинок	в оползневом теле	2,21	$\frac{1,79}{1,83}$	$\frac{1,08}{1,10}$	$\frac{2,05}{2,11}$	$\frac{1,05}{1,07}$	$\frac{1,48}{1,51}$	$\frac{0,98}{1,00}$
	в зоне скольжения	2,23	$\frac{1,78}{1,83}$	$\frac{1,08}{1,10}$	$\frac{2,04}{2,10}$	$\frac{1,05}{1,07}$	$\frac{1,47}{1,50}$	$\frac{0,98}{1,00}$

в увлажненном состоянии, для суглинков и мергелей из зоны скольжения — для подготовленной поверхности (результатов повторного среза) (табл. 1).

Для изучения влияния детальности разбиения оползневого тела на блоки на величину коэффициента устойчивости *при расчетах в плоском сечении* по разрезу, представленному на рис. 1, было произведено два разбиения: на 168 блоков (средней шириной 1 м) и на 17 блоков (средней шириной 10 м).

*Трехмерный метод расчета устойчивости Ховланда* основан на расширении предположений, связанных с двумерными методами. При его использовании все сдвигающие силы между колоннами, на которые разбито оползневое тело, игнорируются. Нормальные и сдвигающие силы, действующие в основании каждой колонны, получаются как компоненты веса последней. Еще одно предположение заключается в том, что существует движение только в одном направлении, и равновесие системы рассчитывается для этого направления.

Для трехмерного расчета устойчивости оползневое тело было разбито на 13 549 колонн размером в плане 1×1 м — так, чтобы две боковые грани каждой из них были параллельны направлению предполагаемого движения оползня. На рисунке 5 для наглядности приведено более простое разбиение оползневого тела на колонны размером в поперечнике 5×5 м. Каждая из них однородна и изотропна. Трехмерные расчеты были произведены так же, как и в двумерном случае, для всех сочетаний показателей свойств грунтов в зоне скольжения.

### Расчет устойчивости оползневого тела

Расчеты устойчивости оползневого тела производились в два этапа: (1) с использованием двумерных методов; (2) с применением трехмерного метода Ховланда [2].

Так как поверхность скольжения оползневого тела, полученная по данным исследований, приближена в разрезе к круглоцилиндрической, то двумерные расчеты коэффициентов устойчивости оползневого тела,

разбитого на блоки, как было указано выше, производились двумя различными способами — методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (Ямбу), который подразумевает равновесие всех сил, и методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (Терцаги), который подразумевает равенство нулю моментов сил [1]. Коэффициенты устойчивости, рассчитанные методом Ямбу для всех сочетаний свойств грунтов, представлены в табл. 2.

На основе полученных результатов расчета методом Ямбу можно сделать следующие выводы.

1. Чем детальнее разбиение оползневого тела на блоки, тем больше получаемый коэффициент устойчивости. Однако разница в получаемых результатах не является существенной и достигает 12% при больших коэффициентах.

2. С ростом прочностных параметров «по поверхности скольжения» (т.е. с ростом коэффициента устойчивости) наблюдается увеличение разницы между результатами расчетов для двух разбиений (рис. 6).

Коэффициенты устойчивости, рассчитанные методом Терцаги для всех сочетаний свойств грунтов, представлены в табл. 3. На основе результатов расчетов с использованием этого метода можно сделать вывод, что разная детальность разбиения оползневого тела на блоки не дает существенного расхождения получаемых значений.

В процессе данного исследования было также проведено сравнение двух уже зарекомендовавших себя методов двумерного расчета устойчивости склона. В результате коэффициент устойчивости оползневого тела, рассчитанный методом Терцаги, меньше, чем полученный методом Ямбу, при любом разбиении и для всех сочетаний показателей свойств грунтов.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующий вывод. *Наблюдается повышение коэффициента устойчивости с уменьшением плотности пород при неизменных показателях прочностных характеристик.* Такую зависимость можно объяснить тем, что сдвигающие силы находятся в прямой зависимости от веса пород оползневого тела, т.е. с ростом плотности они увеличиваются. Плотность также влияет и на удерживающие силы.



живающие силы: при увеличении плотности повышается сила реакции опоры, а следовательно, и сила трения. Но рост удерживающих сил с увеличением плотности меньше, чем в случае со сдвигающими силами.

Трехмерный расчет коэффициента устойчивости оползневого тела был осуществлен методом Ховланда [2]. Общая схема сил, действующих на единичную колонну в трехмерном случае, изображена на рис. 7.

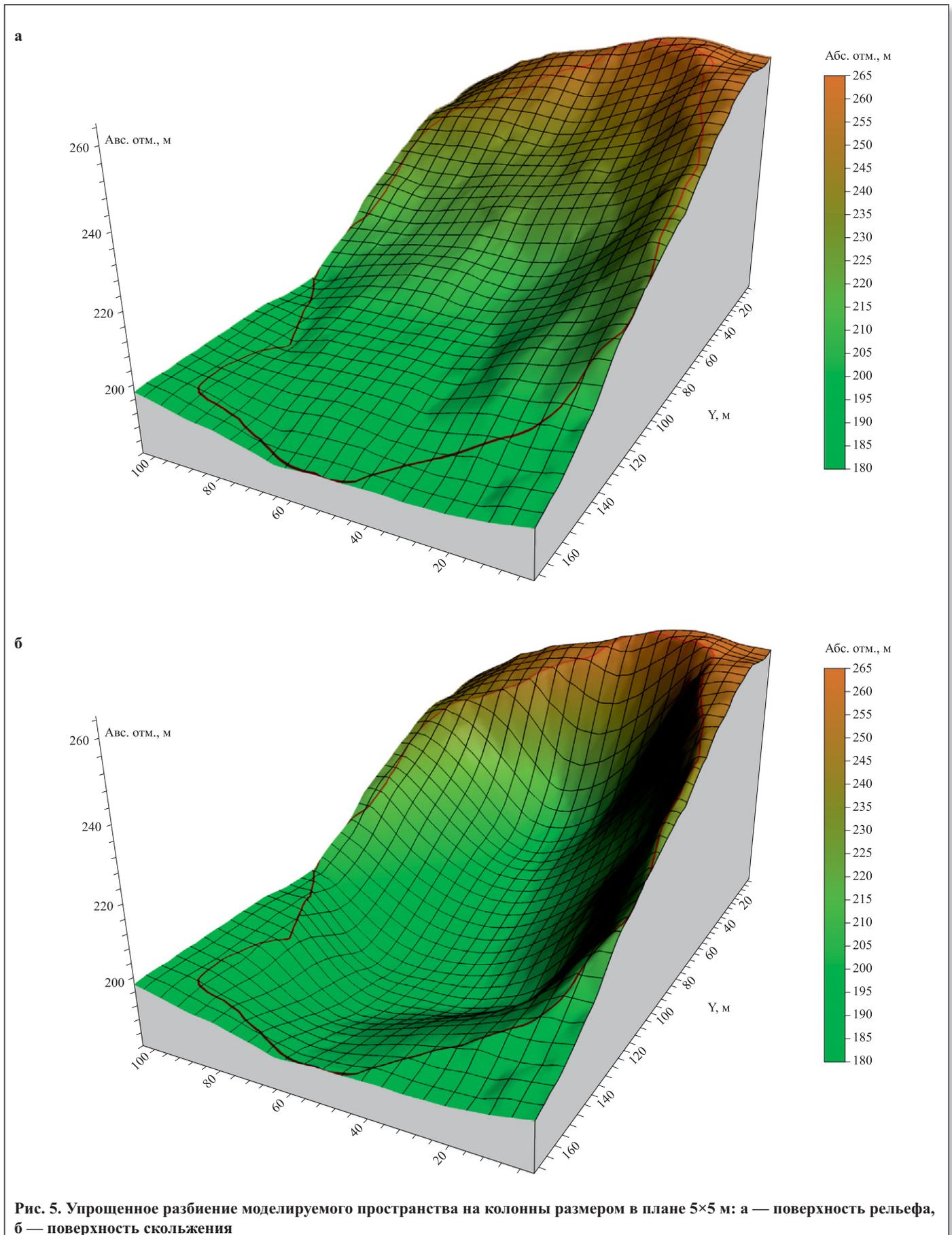


Таблица 3

Коэффициенты устойчивости оползневого тела, рассчитанные методом Терцаги при разбиении оползневого тела на 17 (в числителе) и 168 (в знаменателе) блоков								
Тип грунта	Залегание	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Мергель		Суглинок			
			в зоне скольжения		в оползневом теле		в зоне скольжения	
			в естественном сложении	по подготовленной поверхности	в естественном сложении	по подготовленной поверхности	в естественном сложении	по подготовленной поверхности
Мергель	коренное	2,51	$\frac{1,46}{1,45}$	$\frac{0,90}{0,89}$	$\frac{1,65}{1,64}$	$\frac{0,88}{0,88}$	$\frac{1,21}{1,20}$	$\frac{0,83}{0,82}$
	в оползневом теле	2,45	$\frac{1,46}{1,46}$	$\frac{0,90}{0,90}$	$\frac{1,66}{1,65}$	$\frac{0,88}{0,88}$	$\frac{1,21}{1,21}$	$\frac{0,83}{0,82}$
	в зоне скольжения	2,23	$\frac{1,50}{1,49}$	$\frac{0,91}{0,91}$	$\frac{1,71}{1,70}$	$\frac{0,89}{0,88}$	$\frac{1,23}{1,23}$	$\frac{0,83}{0,83}$
Суглинок	в оползневом теле	2,21	$\frac{1,50}{1,49}$	$\frac{0,91}{0,91}$	$\frac{1,71}{1,71}$	$\frac{0,89}{0,88}$	$\frac{1,24}{1,23}$	$\frac{0,83}{0,83}$
	в зоне скольжения	2,23	$\frac{1,50}{1,49}$	$\frac{0,91}{0,91}$	$\frac{1,71}{1,70}$	$\frac{0,89}{0,88}$	$\frac{1,23}{1,23}$	$\frac{0,83}{0,83}$

В методе, предложенном профессором Ховландом [2], коэффициент устойчивости рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{y3D} = \frac{\sum x \sum y [c A_3 + W \cos(DIP) \operatorname{tg} \varphi]}{\sum x \sum y W \sin \alpha_{xy}},$$

где  $A_3 = \Delta x \Delta y [(1 - \sin^2 \alpha_{xz} \sin^2 \alpha_{yz})^{-0.5} / (\cos \alpha_{xz} \cos \alpha_{yz})]$ ;  $\cos(DIP) = (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xz} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yz})^{-0.5}$ ;  $W = \gamma z \Delta x \Delta y$ ;  $\alpha_{xz}$ ,  $\alpha_{yz}$  — углы наклона поверхности скольжения в плоскостях XZ и YZ соответственно, град.;  $c$  — удельное сцепление по поверхности скольжения, кН/м<sup>2</sup>;  $\varphi$  — угол внутреннего трения по поверхности скольжения, град.;  $\Delta x$  — размер единичной колонны вдоль оси X, м;  $\Delta y$  — размер единичной колонны вдоль оси Y, м;  $z$  — высота колонны, м;  $\gamma$  — удельный вес грунта, которым сложена колонна, кН/м<sup>3</sup>.

Результаты расчета коэффициентов устойчивости методом Ховланда представлены в табл. 4. Несложно заметить, что они в некоторых случаях больше, а в некоторых меньше коэффициентов, рассчитанных двумерными методами (здесь и далее сравнение проводится с результатами применения метода Терцаги при разделении оползневого тела на 168 блоков).

Для отслеживания различий между коэффициентами устойчивости, полученными трехмерными ( $K_y 3D$ ) и двумерными ( $K_y 2D$ ) методами, были вычислены отношения между ними  $K_y 3D / K_y 2D$  для каждого использованного при расчетах сочетания показателей свойств грунтов (рис. 8). В результате анализа графика, представленного на рис. 8, можно заключить, что это отношение стремится к единице при состоянии предельного равновесия оползневого тела. Как видно из рисунка, при коэффициентах устойчивости, немного превышающих единицу (до 1,07),  $K_y 3D < K_y 2D$ , т.е. в

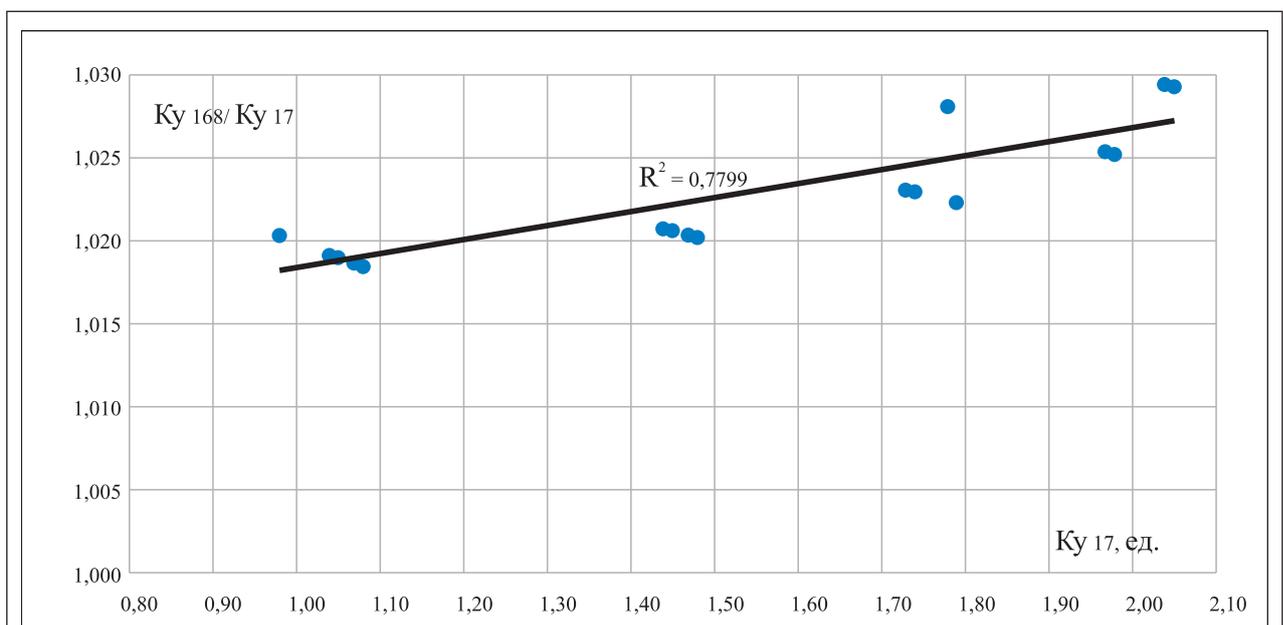


Рис. 6. Отношение коэффициентов устойчивости, рассчитанных методом Ямбу при разбиении на 168 ( $K_{y168}$ ) и 17 ( $K_{y17}$ ) блоков, в зависимости от величины  $K_{y17}$ .  $R^2$  — коэффициент детерминации



Таблица 4

Коэффициенты устойчивости оползневого тела, рассчитанные трехмерным методом Ховланда								
Тип грунта	Залегание	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Мергель		Суглинок			
			в зоне скольжения		в оползневом теле		в зоне скольжения	
			в естественном сложении	по подготовленной поверхности	в естественном сложении	по подготовленной поверхности	в естественном сложении	по подготовленной поверхности
Мергель	коренное	2,51	1,56	0,86	1,89	0,83	1,25	0,75
	в оползневом теле	2,45	1,58	0,86	1,92	0,84	1,26	0,75
	в зоне скольжения	2,23	1,64	0,88	2,01	0,85	1,29	0,76
Суглинок	в оползневом теле	2,21	1,64	0,88	2,02	0,85	1,30	0,76
	в зоне скольжения	2,23	1,64	0,88	2,01	0,85	1,29	0,76

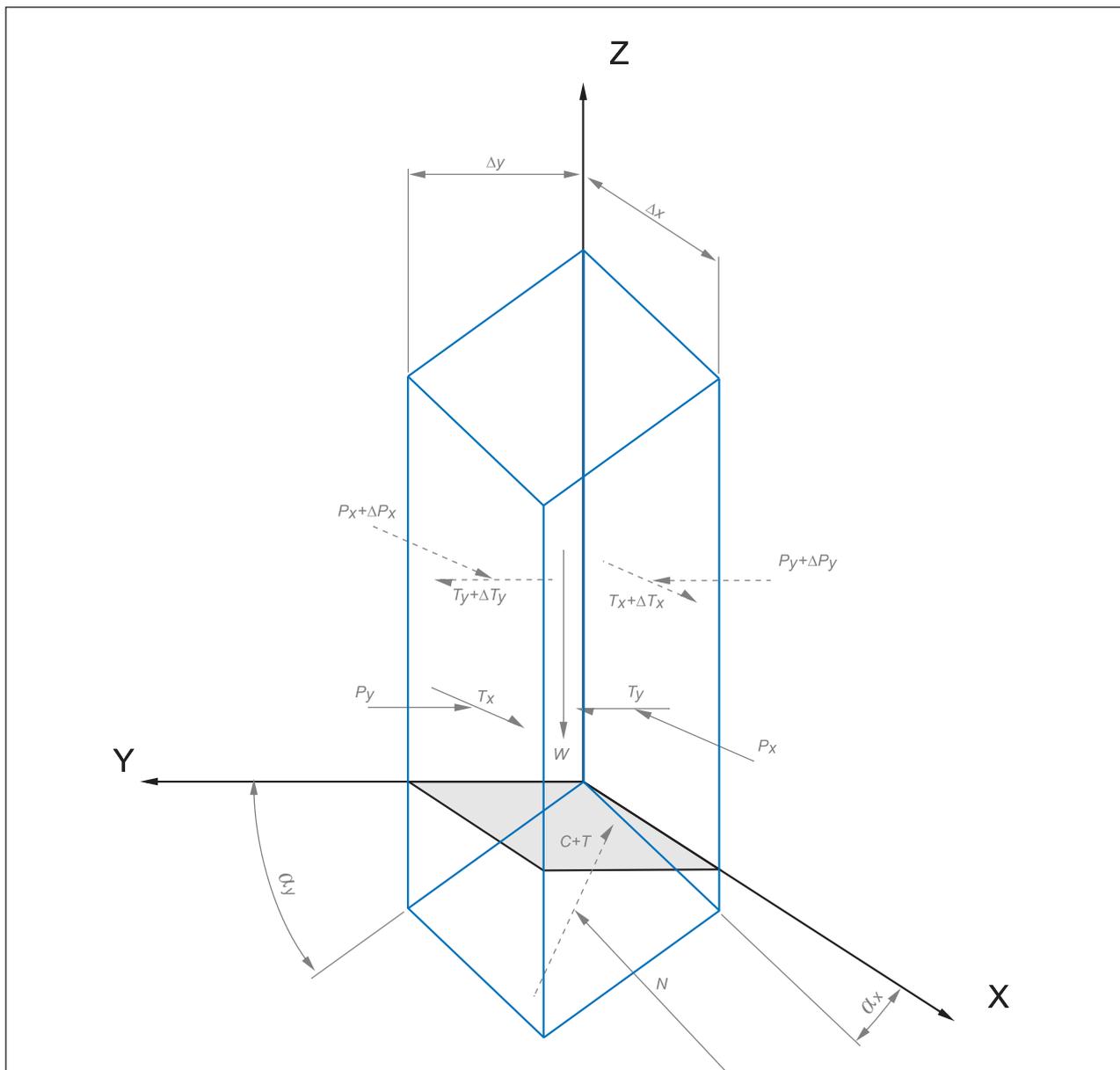
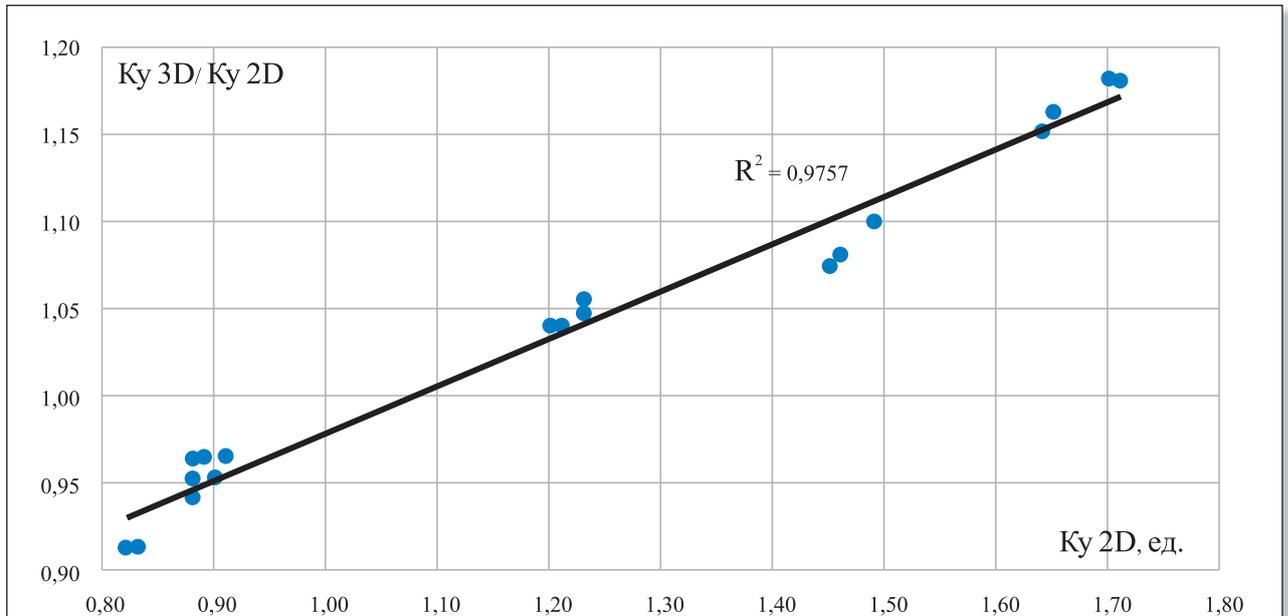


Рис. 7. Общая схема сил, действующих на единичную колонну в трехмерной постановке:  $\Delta x$  — размер единичной колонны вдоль оси X;  $\Delta y$  — размер единичной колонны вдоль оси Y;  $\alpha_{xz}$ ,  $\alpha_{yz}$  — углы наклона поверхности скольжения в плоскостях XZ и YZ соответственно;  $W$  — вес единичной колонны;  $P_x$ ,  $(P_x + \Delta P_x)$ ,  $P_y$ ,  $(P_y + \Delta P_y)$  — нормальная составляющая сил взаимодействия единичной колонны с соседними колоннами по боковым поверхностям вдоль оси X и Y соответственно;  $T_x$ ,  $(T_x + \Delta T_x)$ ,  $T_y$ ,  $(T_y + \Delta T_y)$  — касательная составляющая сил взаимодействия единичной колонны с соседними колоннами по боковым поверхностям вдоль оси X и Y соответственно;  $C$  — сила сцепления по поверхности скольжения;  $T$  — сила трения по поверхности скольжения;  $N$  — сила реакции опоры от воздействия колонны на поверхность скольжения



**Рис. 8.** Отношение коэффициентов устойчивости, рассчитанных трехмерным методом Ховланда ( $K_y, 3D$ ) и двумерным методом Терцаги ( $K_y, 2D$ ), в зависимости от величины  $K_y, 2D$ .  $R^2$  — коэффициент детерминации

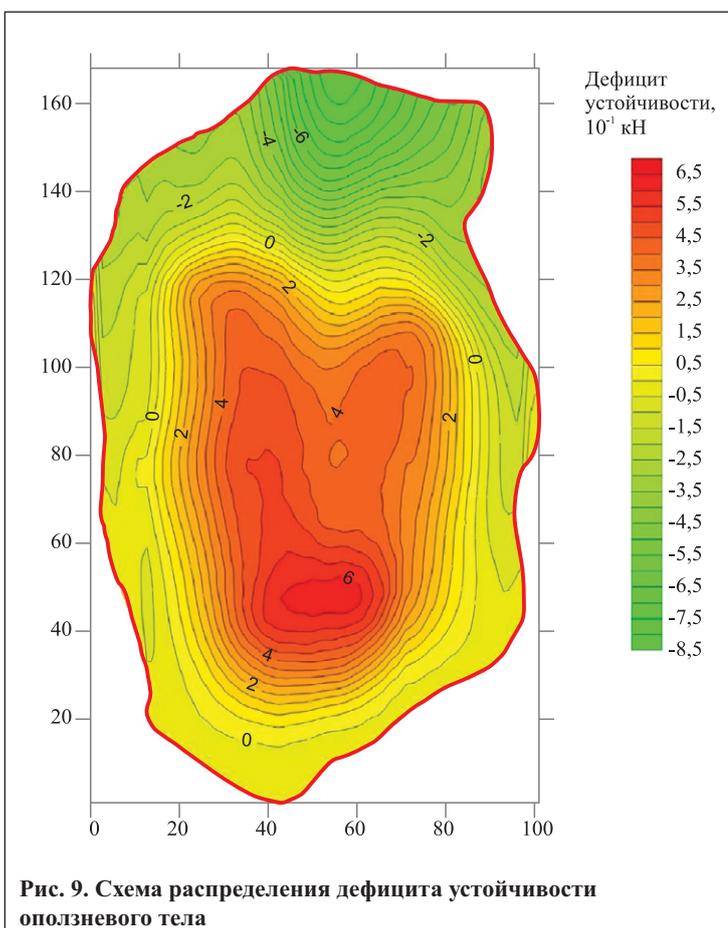
таких случаях выбор метода расчета (двумерного или трехмерного) может иметь решающее значение. И при низких значениях прочностных свойств «по поверхности скольжения» целесообразно применять именно трехмерный расчет устойчивости склона, т.к. он дает меньшие коэффициенты устойчивости и учитывает геометрию всего оползневого склона. Подобная закономерность может быть объяснена следующим образом: при двумерном расчете в плоскости, которая па-

раллельна оси движения оползневого тела, не учитывается изменение геометрии в перпендикулярном направлении («вдоль простирания склона»), в результате чего не учитывается трение по периферической части оползневого тела. К тому же в его боковых частях площадь поверхности скольжения, приходящаяся на одну колонну, возрастает с приближением к краю, в то время как масса колонны снижается. При низких значениях показателей прочностных свойств трение, по-видимому, становится менее заметным и возрастает роль сдвигающих сил.

Так как оползневое тело в настоящее время находится в устойчивом состоянии, на основе произведенных расчетов можно сделать вывод, что показатели прочностных свойств грунтов «по поверхности скольжения» близки к таковым для суглинка из зоны скольжения в естественном состоянии (удельное сцепление 30 кПа, угол внутреннего трения  $19^\circ$ ). Но в периоды активного снеготаяния и выпадения большого количества дождевых осадков, когда наблюдаются признаки оползневых подвижек, для оценки устойчивости стоит применять прочностные параметры, характеризующие суглинка из зоны скольжения при испытании по подготовленной поверхности (удельное сцепление 5 кПа, угол внутреннего трения  $16^\circ$ ).

Хотя коэффициент устойчивости и является количественной характеристикой, наиболее информативными будут данные о дефицитах устойчивости оползневого тела. Если для типичного двумерного расчета дефицит устойчивости меняется только в одном направлении (по падению склона), то на основе трехмерного моделирования предоставляется возможность построения карт и схем распределения дефицита устойчивости в плане. Такие данные, по мнению автора, являются более информативными с практической точки зрения — для проектирования защитных сооружений.

Для изучаемого оползневого участка были рассчитаны и представлены в виде изолиний дефицита устойчивости, выраженные в сотнях ньютонов, для



**Рис. 9.** Схема распределения дефицита устойчивости оползневого тела



каждой колонны (при плотности  $2,21 \text{ г/см}^3$ , сцеплении  $29,8 \text{ кПа}$  и угле внутреннего трения  $19^\circ$ ) (рис. 9). Как видно из рис. 9, максимальные дефициты наблюдаются в средней части склона и составляют  $0,5 \text{ кН}$ , а минимальные — в нижней части (минус  $0,8 \text{ кН}$ ). При отдалении от центральной части они довольно быстро снижаются во всех направлениях (как вниз, так и вверх по склону, а также в сторону боковых частей оползневого тела). Отрицательные дефициты устойчивости говорят о том, что блок, находящийся в данной точке, обладает запасом устойчивости, а оползневое тело с отрицательным дефицитом во фронтальной части является устойчивым.

Любопытно, что в верхней части оползневого тела наблюдается область с незначительным, но все-таки имеющимся запасом устойчивости. Такой результат объясняется наличием сцепления по поверхности скольжения. По мере приближения к границе оползневого тела мощность оползневых отложений уменьшается, а следовательно, уменьшается и сдвигающая составляющая, зависящая от веса расчетного блока. В то же время площадь поверхности скольжения, приходящаяся на расчетный блок, увеличивается вследствие роста угла наклона поверхности скольжения при неизменном размере блока в плане ( $1 \times 1 \text{ м}$ ). А в результате увеличения площади поверхности скольжения растет и сила сцепления расчетного блока. В краевых частях оползневого тела, даже в его головной части, сила сцепления оказывается больше, чем сумма всех сдвигающих сил, что и приводит к небольшому запасу устойчивости в краевых областях.

Стоит заметить также, что в распределении дефицитов устойчивости наблюдается асимметрия, которая обусловлена геометрией оползневого тела. Такое распределение должно учитываться при разработке противооползневых мероприятий в будущем.

### Заключение

Трехмерное моделирование склонов в совокупности с новыми методиками расчета коэффициента устойчивости и оползневого давления дает результаты, которые ближе к реальности, чем данные, полученные традиционными двумерными методами, т.к. учитывает геометрию всего склона и всей поверхности скольжения, а не только области вдоль расчетного профиля.

Трехмерные методы расчета, а также схемы распределения дефицитов устойчивости являются более информативными и полезными с точки зрения прогноза и проектирования защитных сооружений.

Исследованное оползневое тело для принятых в расчете показателей свойств грунтов является устойчивым. Устойчивое состояние подтверждается как рассчитанным коэффициентом устойчивости, так и распределением дефицита устойчивости. 

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование. М.: Изд-во МГУ, 2006. 256 с.
2. Hovland H.J. Three-dimensional slope stability analysis method // Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE, 1977. V. 103. № 9. P. 971–986.

# ГЕОТЕХНИКА

Международный журнал для изыскателей,  
проектировщиков и строителей

Цель журнала — знакомство российских специалистов  
с передовым отечественным и зарубежным опытом  
в области геотехники



Периодичность в 2014 году:  
**6 номеров**

Стоимость годовой подписки:  
**3900 рублей**  
[info@geomark.ru](mailto:info@geomark.ru)



# НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ИХ СИСТЕМАТИЗАЦИЯ

## INDETERMINACIES IN THE ENVIRONMENTAL-GEOLOGICAL SYSTEMS AND THEIR SYSTEMATIZATION

**БУСЛАЕВА О.В.**

Аспирант геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, buslaeva.ol@gmail.com

**КОРОЛЕВ В.А.**

Профессор геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.-н., korolev@geol.msu.ru

**BUSLAEVA O.V.**

Postgraduate student of the geological faculty of the Lomonosov Moscow State University, buslaeva.ol@gmail.com

**KOROLEV V.A.**

Professor of the geological faculty of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), Moscow, korolev@geol.msu.ru

**Ключевые слова:**

неопределенность; опасность; риск; эколого-геологическая система; экологическая геология; прогнозирование.

**Key words:**

indeterminacy; danger; risk; environmental-geological systems; environmental geology; prediction.

### Аннотация

**В статье анализируется новое понятие — «неопределенность в эколого-геологических системах (ЭГС)». Вводится его определение, рассматриваются виды неопределенностей, обуславливающие риск развития опасностей в ЭГС. Предлагаются варианты систематизации факторов неопределенности в ЭГС, кратко характеризуются возможные (в основном математические) методы прогнозирования развития ЭГС в условиях неопределенности.**

### Введение

Моделирование процессов самой разной природы сталкивается, как правило, с проблемой приблизительности, неточности и неполноты данных о моделируемой системе. В частности, эта проблема возникает при моделировании процессов, происходящих в эколого-геологических системах (ЭГС), сложных по структуре и возникающим в них явлениям [22].

Эколого-геологическая система состоит из сообщества живых организмов и геологического компонента как среды их обитания, включает в себя множество связей между отдельными элементами и характеризуется рядом происходящих в ней процессов, таких как обмен веществом и энергией и др.

Недостаток знаний об ЭГС часто носит объективный характер и является следствием сложности этих систем, познание которых составляет одну из основных задач экологической геологии [21]. Отсутствие полноты информации об эколого-геологической системе и законах ее функционирования значительно усложняет задачу прогнозирования тех или иных явлений, происходящих в ее пределах.

Если о механизме формирования (возникновения, распространения) процесса мало что известно, то этот процесс рассматривается как подверженный влиянию неопределенных факторов.

Описание развития ЭГС в условиях неопределенности — актуальная, важная, трудная и до сего времени не исследованная задача. Близкие по характеру задачи рассматривались в работах, посвященных в основном общей теории риска и его прогнозированию [2, 4, 5, 7, 9, 11–14, 22–24 и др.]. Однако в области экологической геологии большинство работ по анализу процессов в ЭГС и их изменениям базируется на детерминированных закономерностях, выявлению которых они и посвящены. Что же касается описания эколого-геологических систем в условиях неопределенности, то таких работ практически нет.

### Abstract

**This paper analyses such a new concept as «indeterminacy in environmental-geological systems (EGS)», introduces a definition of it, discusses kinds of indeterminacies that contribute to the risk of development of dangers in EGS. Some variants of systematization of indeterminacy factors in EGS are offered, possible (mainly mathematical) methods of prediction of EGS development under the conditions of indeterminacy are briefly characterized.**



Поэтому цель настоящей статьи — характеристика неопределенностей в ЭГС и их систематизация для последующей разработки методов прогнозирования развития ЭГС в условиях неопределенности.

### **Понятие «неопределенность в эколого-геологической системе»**

Понятие «неопределенность» применимо к различным объектам, системам и процессам окружающего нас мира, отражает отсутствие однозначности в развитии процесса, а также отсутствие или недостаток информации о чем-либо. Неопределенность наряду с другими качествами обуславливает риск развития тех или иных опасностей [5], а применительно к ЭГС — риск развития процессов, опасных для экосистем.

С философской точки зрения понятие «неопределенность» тесно связано с такими важнейшими философскими категориями, как «случайность и необходимость» или «случайное и закономерное», анализу взаимосвязи которых посвящено значительное количество философских работ от Гегеля и К. Маркса до современных авторов. По проблеме соотношения этих категорий были высказаны, по крайней мере, три разные точки зрения (позиции): (1) отрицающая случайные процессы в окружающем нас мире и отстаиваемая детерминистами (П. Лапласом и др.); (2) допускающая одновременное протекание и случайных (стохастических), и закономерных процессов, вероятность наличия которых может быть разной; (3) рассматривающая случайные процессы как особые, имеющие совершенно иную природу, чем детерминированные.

Неопределенность выступает как проявление случайности, случайных (стохастических) процессов, для которых, однако, может быть выявлена не детерминированная причинно-следственная связь, а закономерность особого рода — вероятностная.

В эколого-геологических системах осуществляются как детерминированные, так и вероятностные процессы. Изучению первых уделяется основное внимание в геоэкологии и экологической геологии, а вторые остаются практически неизученными. Тем не менее их познание имеет огромное значение, в т.ч. для прогнозирования многих опасных процессов в ЭГС и оценки их риска.

Поэтому для целей экологической геологии и геоэкологии в целом авторами вводится понятие «неопределенность в эколого-геологической системе», учитывающее и отражающее специфические особенности ЭГС, связанные со стохастическими процессами.

*Неопределенность в эколого-геологической системе — это ее особое свойство (качество), обусловленное стохастическим характером имеющихся в ней взаимосвязей и процессов и/или недостатком информации о них и проявляющееся в возможности многих вариантов развития данной системы, экологически как безопасных, так и опасных.*

Неопределенность обуславливается двумя основными причинами: (1) отсутствием или недостаточностью знаний о закономерностях возникновения явлений; (2) стохастическим характером факторов, влияющих на развитие процесса [5]. С первой из указанных причин исследователь сталкивается всякий

раз, приступая к изучению ЭГС или к оценке ее состояния. Эта причина устраняется путем получения и выявления необходимой информации об ЭГС на базе использования тех или иных постоянно совершенствуемых методов и технологий. В итоге ЭГС все больше и больше теряет исходную неопределенность, обусловленную первой причиной.

С устранением же второй причины дело обстоит гораздо сложнее. Описание развития эколого-геологической системы в условиях, когда на нее действуют разнообразные неопределенные факторы, предполагает многозначность и многовариантность большого количества возможных сценариев ее развития, экологически как благоприятных, так и неблагоприятных.

Одной из причин экологически неблагоприятных изменений в ЭГС является нестабильность условий функционирования данной системы, которая возрастает с усложнением техносферы и ее неконтролируемым (а потому вероятностным) развитием.

Неопределенность в ЭГС как категория экологической геологии может быть проанализирована на базе «пирамиды понятий» [3]. В ее основе, как известно, лежит логический анализ объема понятий и их содержания. Применяя логические приемы сравнения понятий неопределенности, различающихся по объему и содержанию, можно систематизировать категорию «неопределенность в ЭГС» так, как показано на рис. 1. «Неопределенность в ЭГС» как понятие наибольшего объема делится в данном случае на два понятия меньшего объема: (I) «природная неопределенность в ЭГС»; (II) «природно-техногенная неопределенность в ЭГС». На следующем, более низком по объему уровне, в каждом из них выделяются еще по два понятия меньшего объема — «внешняя неопределенность» и «внутренняя неопределенность», первая из которых обусловлена внешними причинами и воздействиями на ЭГС, а вторая — внутренними процессами, происходящими в пределах ЭГС. Таким образом, на третьем уровне выделяются следующие четыре понятия: (1) «внешняя природная неопределенность в ЭГС»; (2) внутренняя природная неопределенность в ЭГС»; (3) «внешняя природно-техногенная неопределенность в ЭГС»; (4) «внутренняя природно-техногенная неопределенность в ЭГС». На четвертом уровне эти понятия подразделяются по природе обуславливающих их процессов на два типа категорий еще меньшего объема: (а) случайные (стохастические) имеющие вероятностный характер; (б) неслучайные (нестохастические). Таким образом, на этом уровне выделяется восемь понятий неопределенности в ЭГС — меньшего объема, но большего содержания, чем предыдущие (см. рис. 1). Далее пирамида понятий «неопределенности в ЭГС» может достраиваться вниз в соответствии с логическими принципами определения понятий.

### **Систематизация неопределенных факторов**

Неопределенные факторы в ЭГС можно систематизировать, используя различные признаки, характеризующие те или иные стороны неопределенности [5]. На взгляд авторов, наиболее естественными выглядят классификации, построенные: (1) по происхождению

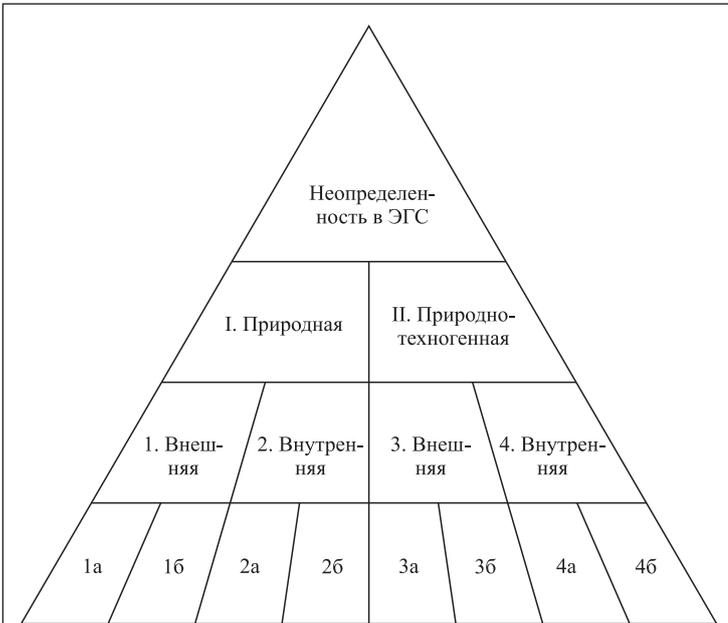


Рис. 1. Пирамида понятий «неопределенность в эколого-геологической системе» (объяснения в тексте)

неопределенности; (2) по отношению неопределенности к изучаемой ЭГС; (3) по природе неопределенности; (4) по источнику неопределенности; (5) по степени (мере) неопределенности и по другим критериям.

По **происхождению** неопределенности в ЭГС могут быть природными или техногенно-природными. Природная неопределенность чаще всего обусловлена недостаточной изученностью природных явлений в ЭГС, тогда как природно-техногенная обусловлена в т.ч. и неопределенным развитием техногенеза, техносферы, вероятностным характером научно-технического прогресса.

Одним из центральных вопросов экологической геологии является неопределенность влияния неживого на живое (биоту), или неопределенность взаимодействия абиотических и биотических компонентов ЭГС.

Развитие популяций в экосистемах подчиняется законам больших чисел и имеет стохастический характер [17]. В то же время многие процессы в абиотических компонентах экосистем часто носят детерминированный характер. Отсюда вытекает сложный характер взаимодействия и взаимосвязей между «живым» и «неживым». Поэтому исходя из структуры эколого-геологической системы [21] также можно выделить ряд специфических неопределенностей, обусловленных ее отдельными составляющими.

Так, например, по **отношению к изучаемым системам** можно выделить: (1) внутренние неопределенности в ЭГС, которые обусловлены внутренними особенностями и незакономерными изменениями экотопа и его составляющих (климатопа, гидротопа, литотопа и эдафотопа), а также биоценоза и его составляющих (фитоценоза, зооценоза, микробиоценоза, человеческого сообщества); (2) внешние неопределенности в ЭГС, обусловленные внешними незакономерными природными и (или) техногенными воздействиями на ЭГС различного характера.

По **природе** неопределенности выделяются факторы стохастической (случайные) и нестохастической (неслучайные) природы. И стохастические, и нестохастические факторы могут быть подвергнуты следующему уточнению и разделению в соответствии со степенью (мерой) неопределенности каждого из них (рис. 2).

К **случайным (стохастическим)** относятся неопределенные факторы, обладающие свойством статистической устойчивости, которая чаще всего описывается в терминах функций распределения вероятностей. Функция распределения  $f(x)$  случайной величины  $\zeta$  определяется как  $f(x) = P\{\zeta \leq x\}$ , где  $P\{\zeta \leq x\}$  — вероятность того, что случайная величина  $\zeta$  примет значение, не превосходящее  $x$ . Вероятность понимается как степень возможности реализации случайного процесса и изменяется в интервале от 0 до 1. Это означает, в частности, что функция распределения случайной



Рис. 2. Классификация неопределенных факторов, описывающих ЭГС, по их природе



величины является неубывающей по  $x$  функцией, областью значений которой является отрезок  $[0, 1]$ . Из определения функции распределения и свойства аддитивности вероятностей следует, что  $P\{x < \zeta \leq y\} = f(y) - f(x)$ , т.е. вероятность того, что случайная величина  $\zeta$  примет значение, превосходящее  $x$ , но не превосходящее  $y$  при  $x \leq y$ , равна разности  $f(y)$  и  $f(x)$  (где  $f(y) = P\{\zeta \leq y\}$  — вероятность того, что случайная величина  $\zeta$  примет значение, не превосходящее  $y$ ).

Если известно, что событие произойдет наверняка, то оно называется достоверным и его вероятность полагается равной 1. Если же известно, что событие никогда не произойдет, то оно называется невозможным и его вероятность полагается равной 0.

В случае, когда известен закон распределения случайной величины, характеризующей процесс, процесс происходит в условиях *стохастической неопределенности*. Такой вид неопределенности является «наименее неопределенным», т.к., зная закон распределения случайной величины и пользуясь формулами теории вероятностей, можно вычислить все характеристики процесса, среди которых наиболее важными являются математическое ожидание  $M[\zeta] = \int xdf(x)$  и дисперсия  $D[\zeta] = \int (x - M[\zeta])^2 df(x)$ .

В случае, когда закон распределения неизвестен, процесс происходит в условиях *статистической неопределенности*, которая, в свою очередь, делится на две большие группы: (1) с известным типом (видом) распределения (пуассоновским, нормальным или др.), но неизвестными его параметрами; (2) с неизвестным типом распределения. Статистическая неопределенность имеет более выраженный характер неопределенности по сравнению со стохастической. При этом она более ярко проявляется во второй группе и менее ярко — в первой. В условиях статистической неопределенности для определения закона распределения и вычисления вероятностей желателен (но не всегда возможен) сбор дополнительной статистической информации.

К *нестатистическим* относят такие неопределенные факторы, вероятность возможной реализации которых не имеет физического смысла. Такие факторы не обладают свойством статистической устойчивости (т.к. невозможно определить вероятность их реализации) и не описываются каким-либо законом распределения вероятностей. В этом случае процесс протекает в условиях *нестохастической неопределенности*. В этих условиях законы теории вероятностей неприменимы. Нестохастическая неопределенность — это неизвестность, обусловленная недостаточностью или полным отсутствием информации о процессе.

Для описания неопределенных факторов нестохастической природы иногда используют теорию нечетких множеств. Под нечетким множеством  $A$  понимается совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов  $x$  универсального множества  $X$  и соответствующих степеней принадлежности  $\mu_A(x)$ ,  $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$ , где  $\mu_A(x)$  — функция принадлежности (характеристическая функция), указывающая, в какой степени (мере) элемент  $x$  принадлежит нечеткому множеству  $A$ . Множества  $X$  и  $A$  определяются некоторыми конкретными критериями.

Неопределенные факторы нестохастической природы можно условно разделить на две группы: (1) с известными функциями принадлежности (диапазоном изменения переменных); (2) с неизвестными функциями принадлежности. Нестохастическая неопределенность имеет более выраженный характер неопределенности по сравнению со статистической и тем более со стохастической и при этом более ярко проявляется во второй группе и менее ярко — в первой.

Таким образом, случайные факторы представляют собой наиболее «легкий» вид неопределенности, поскольку они подчиняются определенным закономерностям и становятся предсказуемыми в среднем, подчиняясь закону больших чисел. Однако в каждом конкретном проявлении такие случайные факторы остаются непредсказуемыми.

Наиболее «тяжелый» вид неопределенности имеют факторы нестохастической природы. Для их описания иногда вводят субъективные вероятности (с помощью экспертного оценивания) и затем применяют аппарат теории вероятностей. Однако надо иметь в виду, что при использовании субъективных вероятностей некоторые положения теории вероятностей, в частности закон больших чисел, перестают действовать.

Рассмотренная выше классификация неопределенных факторов, описывающих ЭГС, также может быть представлена в виде «пирамиды понятий» на основе логического деления (рис. 3).

На первом уровне пирамиды выделяются понятия наибольшего объема: (I) «случайные неопределенные факторы»; (II) «нестатистические (нестохастической природы) неопределенные факторы». На следующем, более низком, уровне располагаются понятия меньшего объема, но более содержательные по степени неопределенности, а именно: (1) «стохастическая неопределенность»; (2) «статистическая неопределенность»; (3) «неопределенность с известными функциями принад-



Рис. 3. Пирамида понятий «неопределенные факторы в эколого-геологической системе, выделяемые по их природе» (объяснения в тексте)

лежности»; (4) «неопределенность с неизвестными функциями принадлежности». При уточнении и логическом делении понятий (1) и (2) можно далее выделить еще один уровень, в который войдут понятия: (1а) «стохастическая неопределенность с известным законом распределения случайной величины»; (2а) статистическая неопределенность с неизвестным законом распределения случайной величины, но его известным типом (видом); (2б) «статистическая неопределенность, при которой ничего не известно о законе распределения случайной величины».

Можно выделить следующие виды неопределенностей по *источникам их возникновения* в ЭГС (см. таблицу):

- связанная с недостаточной изученностью явлений в ЭГС;
- ответных реакций в ЭГС;
- восстановительных процессов в ЭГС;
- метрологическая;
- связанная с невозможностью получения информации;
- временная;
- экономическая;
- политическая.

Дадим краткие комментарии к основным видам неопределенностей, фигурирующим в таблице.

В качестве примера недостаточной изученности природных явлений, происходящих в ЭГС, можно привести неполную изученность строения геологической среды, свойств горных пород, геологических процессов, эволюции земной коры, геомагнитных инверсий, влияния геомагнитного поля на биосферу и др. К этому же виду неопределенностей можно отнес-

ти и недостаточную изученность экологических функций литосферы [20].

К недостаточной изученности антропогенных процессов можно отнести неполную изученность техногенных химических, физических и биологических процессов, происходящих в ЭГС. Этот вид неопределенности, как отмечалось выше, — самый распространенный и устраняется известными методами геологии и экологической геологии. При этом получение необходимой информации во многих случаях позволяет оценивать состояние ЭГС на базе детерминированных закономерностей.

Неопределенность ответных реакций в эколого-геологической системе объясняется диспропорциональностью причинно-следственных явлений в ней. Слабые воздействия на ЭГС могут иметь сильные непредвиденные экологические последствия и наоборот.

Неопределенность восстановительных процессов в эколого-геологической системе имеет очень большое значение для оценки ее функционирования и эволюции и обусловлена различными возможными механизмами обеспечения ее устойчивости при различных воздействиях. В неопределенность восстановительных процессов включается, в частности, неопределенность перехода ЭГС в новое качество после того, как система была выведена по тем или иным причинам из положения равновесия. Неопределенность этого вида проявляется в множественности как путей перехода, так и новых качеств ЭГС, а также в случайности их реализации. С ней исследователь сталкивается всякий раз, например, оценивая устойчивость ЭГС при техногенных воздействиях.

Таблица

Виды неопределенностей по источнику возникновения в ЭГС		
Вид неопределенности	Проявление неопределенности	
	природной	природно-техногенной
Связанная с недостаточной изученностью явлений в ЭГС	Недостаточная изученность природных процессов и явлений в ЭГС	Недостаточная изученность антропогенных процессов и механизмов их протекания в ЭГС
Ответных реакций в ЭГС	Недостаточная изученность прямых и обратных связей в природной ЭГС	Недостаточная изученность прямых и обратных связей в природно-техногенной ЭГС
Восстановительных процессов в ЭГС	Недостаточная изученность самоорганизации и самовосстановления ЭГС	Многовариантность принятия решений по восстановлению природно-технических ЭГС
Метрологическая	Неопределенность, связанная с неизбежными ошибками результатов наблюдений, характеризующих природные компоненты ЭГС	Неопределенность, связанная с неизбежными ошибками результатов измерений показателей, описывающих функционирование природно-техногенного объекта в ЭГС
Связанная с невозможностью получения информации	Объективная невозможность получения информации о компонентах ЭГС в труднодоступных для исследования районах	Закрытость информации для ряда техногенных объектов
Временная	Неопределенность времени и места регулярно происходящих природных опасных событий в ЭГС	Неопределенность времени и места регулярно происходящих природно-техногенных опасных событий в ЭГС
Экономическая	Неопределенность экономической оценки природных ЭГС и экономического ущерба от опасных природных процессов	Неопределенность экономической оценки природно-техногенных ЭГС и экономического ущерба от опасных природно-техногенных процессов
Политическая	Неопределенность влияния политических событий на развитие природных ЭГС	Неопределенность влияния политических событий на развитие природно-техногенных ЭГС



Метрологическая неопределенность в ЭГС проявляется, например, в погрешностях при измерении значений факторов, описывающих данную систему.

Неопределенность, связанная с невозможностью получения информации об эколого-геологической системе и ее компонентах, — также один из распространенных видов неопределенностей, с которыми сталкивается экогеолог или геоэколог. Часто за «закрытой» информацией о тех или иных техногенных объектах их руководством скрываются различные факты экологических нарушений и нанесенного ущерба. Устранить эту неопределенность, к сожалению, во многих случаях бывает сложно без привлечения прокуратуры или экологической полиции.

Временную неопределенность природных процессов в ЭГС можно выделить, когда развитие природных процессов в ЭГС контролируется, но время, место и сила их проявления определены лишь в некоторых приблизительных диапазонах. Такого рода неопределенность характерна, например, для наводнений, паводков, землетрясений, оценка риска проявления которых имеет огромное экологическое значение.

Временная неопределенность в природно-техногенной ЭГС включает в себя и компонент, обусловленный неопределенным развитием во времени техногенеза, техносферы, вероятностным характером научно-технического прогресса в целом.

Экономическая неопределенность в ЭГС имеет важное значение при оценке ущерба от экологически опасных процессов и риска их возникновения и развития. Она обусловлена общей неопределенностью экономического развития как в глобальном масштабе, так и в рамках отдельного государства. Неопределенность колебаний курсов валют, стоимости природных ресурсов и пр. затрудняет длительное экономическое прогнозирование ущерба, экологического риска и др.

В политическую неопределенность включается отсутствие четко сформулированной экологической политики государства, возможность влияния политических кризисов, проявлений сепаратизма, экстремизма, терроризма и пр. на состояние и функционирование ЭГС.

Неопределенности в ЭГС стохастической и нестохастической природы были уже выше частично упорядочены по степени (мере) их неопределенности. Более полная классификация неопределенностей по степени их выраженности была предложена К. Борхом [19], который выделил следующие семь степеней неопределенности (по мере ее возрастания):

- нулевая, отражающая отсутствие неопределенности (система полностью определена на базе детерминированных закономерностей) и чаще всего являющаяся допущением, принимаемым для упрощения расчетов;
- квазидетерминированная (система определена лишь частично);
- стохастическая «классического» типа;
- с известным типом распределения, но неизвестными параметрами;
- с неизвестной функцией распределения при достаточно большой накопленной статистике;
- с неизвестной функцией распределения при малой накопленной статистике;
- нестохастическая, исключая вероятностные закономерности.

В этой классификации степень выраженности неопределенности возрастает от позиции 1 к позиции 7. Последняя характеризуется самой высокой неопределенностью и, соответственно, сложнее всего поддается оценке.

### **Возможные методы прогнозирования развития ЭГС в условиях неопределенности**

Наиболее желательный способ определения вероятности случайных событий — это использование объективной информации. В этом случае вероятности называются объективными, и их значения вычисляются с помощью математических методов на основе известной функции распределения случайной величины либо путем обработки статистической информации. Однако в геоэкологии и экологической геологии исследователь часто сталкивается с субъективной информацией, к которой трудно применить математические методы.

Степень неопределенности природных и природно-техногенных явлений в ЭГС можно понизить путем более глубокого и детального изучения механизмов возникновения и развития процессов (в т.ч. и опасных), происходящих в ЭГС. Этому и посвящено большинство работ в области экологической геологии. Более глубокое и детальное изучение ЭГС позволяет сделать процессы менее случайными и, соответственно, более закономерными. Решение этой задачи проводится в рамках исследований в соответствующих областях знаний [1, 2, 6, 8, 10, 15, 16, 18, 19].

Для получения достаточно достоверных прогнозов развития ЭГС в условиях неопределенности можно использовать в зависимости от задачи те или иные, главным образом математические, методы:

- вероятностно-статистические;
- основанные на теории нечетких множеств;
- основанные на теории принятия решений и теории игр;
- основанные на теории распознавания образов;
- эвристические.

**Вероятностно-статистический метод** позволяет оценить вероятность возможной реализации процесса в пределах ЭГС в условиях неопределенности чаще всего случайной природы. Его основные ограничения связаны с недостаточной статистикой данных об особенностях ЭГС. Тем не менее вероятностный метод в настоящее время считается одним из наиболее перспективных для целей прогнозирования как в инженерной, так и в экологической геологии. Имеются следующие методы прогнозирования в зависимости от имеющейся исходной информации об особенностях ЭГС в условиях неопределенности:

- *статистический*, когда вероятности определяются по имеющимся статистическим данным (при их наличии) об особенностях ЭГС;
- *теоретико-вероятностный* для изучения редких событий в отсутствие статистических данных об особенностях ЭГС;
- *метод Монте-Карло* (метод рандомизации), основанный на создании последовательности псевдослучайных чисел и моделирующий развитие того или иного процесса в пределах ЭГС.

**Методы теории нечетких множеств** состоят в том, что в отличие от классической теории множеств функции принадлежности  $\mu_A(x)$  в них могут принимать не только значения 0 (если  $x$  не принадлежит множеству  $A$ ) или 1 (если  $x$  принадлежит множеству  $A$ ), но и произвольные из отрезка  $[0, 1]$ . Функции принадлежности  $\mu_A(x)$  определяются теми или иными критериями, которые обосновываются для конкретной ЭГС. При помощи методов нечетких множеств также можно формально определить неточные и многозначные понятия ЭГС в условиях неопределенности. Методы теории нечетких множеств применяются к неопределенным факторам нестохастической природы.

В дополнение к вероятностно-статистическому и основанному на теории нечетких множеств могут быть использованы методы теории принятия решений и теории игр, теории распознавания образов, а также эвристический.

**Методы теории принятия решений и теории игр** позволяют построить математическую модель разрешения некоторых проблемных ситуаций и выбрать наиболее оптимальное из решений (в соответствии с некоторым критерием оптимальности — количественным или качественным, который обосновывается для данной ЭГС).

**Методы теории распознавания образов** позволяют классифицировать эколого-геологические системы в условиях неопределенности или их компоненты, а также картографические модели ЭГС по нескольким категориям и классам, основанным на прецедентах — ранее классифицированных объектах, принимаемых как образцы при решении задач классификации.

**Эвристический метод (экспертное оценивание)** заключается в логико-интуитивном анализе ЭГС в условиях неопределенности, разработке альтернатив и количественной оценке их качества на базе принимаемых экологических критериев. Обобщенное мнение экспертов служит основанием для осуществления выбора. Эвристический метод применяется при отсутствии как статистических данных, так и адекватных математических моделей и реализуется в виде экологической экспертизы. В методе возможно использование субъективных вероятностей, получаемых с помощью экспертного оценивания.

## **Заключение**

Процессы в сложных эколого-геологических системах несут, как правило, случайный характер и развиваются в условиях неполноты (вплоть до ее отсутствия) объективной информации о причинах их возникновения, условиях и закономерностях протекания под влиянием недостаточно контролируемых и неопределенных факторов. В этом случае говорят о развитии ЭГС в условиях неопределенности.

В статье введено понятие «неопределенность в эколого-геологической системе» и дано его определение. Исходя из результатов проведенного анализа таких неопределенностей предложены возможные варианты систематизации неопределенных факторов в ЭГС (в соответствии с природой, происхождением и источником неопределенностей, со степенью выраженности их факторов и др.). Кроме того, указаны и кратко описаны возможные (в основном математические) методы прогнозирования ЭГС в условиях неопределенности.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Абакумов А.И.* Неопределенность данных в математической экологии // Дальневосточный математический журнал. 2000. Т. 1. № 1. С. 38–42.
2. *Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: ФИД «Деловой экспресс», 2004. 352 с.
3. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / Трофимов В.Т., Королев В.А., Харьковина М.А. и др. (под ред. В.Т. Трофимова). М.: ООО «Геомаркетинг», 2012. 328 с.
4. *Ваганов П.А.* Экологические риски. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 152 с.
5. *Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н.* Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2008. 368 с.
6. *Горский В.Г., Моткин Г.А., Петрунин В.А., Терещенко Г.Ф., Шаталов А.А., Швецова-Шилова Т.Н.* Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. М.: Экономика и информатика, 2002. 260 с.
7. *Дубров А.М.* Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе. М.: Финансы и статистика, 2000. 176 с.
8. *Космическое земледелие: информационно-математические основы* / под ред. В.А. Садовниченко. М.: Изд-во МГУ, 1998. 571 с.
9. *Кузьмин И.И., Махутов Н.А., Хетагуров С.В.* Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та экономики и финансов, 1997. 163 с.
10. *Махутов Н.А. и др.* Особенности применения методов анализа опасностей систем «человек — машина — среда» на базе нечетких множеств // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2001. № 1. С. 99–110.
11. *Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
12. *Мягков С.М.* География природного риска. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
13. *Потапов Б.В., Радаев Н.Н.* Экономика природного и техногенного рисков. М.: Деловой экспресс, 2001. 514 с.
14. *Рагозин А.Л.* Оценка и управление природными рисками. М.: КРУК, 2003. 320 с.
15. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1: Долгосрочное прогнозирование элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 357 с.
16. *Савчук В. П.* Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов. М.: Наука, 1989. 328 с.
17. *Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.* Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука, 1978. 352 с.
18. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
19. *Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М.* Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 350 с.
20. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология: учебник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. 415 с.
21. *Трофимов В.Т.* Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.
22. *Харченко С.Г., Ананьева Р.В.* Ретроспектива международного опыта анализа рисков // Международная экономика. 2008. № 6. С. 61–69.
23. *Шмаль А.Г.* Факторы экологической опасности и экологические риски. Бронницы: Изд-во МП «ИКЦ БНТВ», 2010. 191 с.
24. *Шоломицкий А.Г.* Теория риска. Выбор при неопределенности и моделирование риска: учеб. пособие для студ. вузов. М.: Изд. дом ГУ «ВШЭ», 2005. 400 с.

# ЭКСПЕРТНЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНОВ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДОЧНЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

## EXPERT METHODS FOR ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL-GEOLOGICAL CONDITIONS IN AREAS OF MINING AND PROCESSING OF CARBONATE RAW MATERIALS

### КОСИНОВА И.И.

Заведующая кафедрой экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, д.г.-м.н., г. Воронеж, kosinova777@yandex.ru

### БАЗАРСКИЙ О.В.

Профессор общеуниверситетской кафедры физики и химии Военного авиационного инженерного университета, д.ф.-м.н., г. Воронеж, arhangelskaya49@mail.ru

### ЗАРИДЗЕ М.Г.

Аспирант кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, mzaridze@mail.ru

### KOSINOVA I.I.

Head of the ecological geology chair of the geology faculty of the Voronezh State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), professor, Voronezh, kosinova777@yandex.ru

### BAZARSKY O.V.

Professor of the all-university chair of physics and chemistry of the Military Aviation Engineering University, PhD (doctor of science in Physics and Mathematics), Voronezh, arhangelskaya49@mail.ru

### ZARIDZE M.G.

Postgraduate student of the ecological geology chair of the geology faculty of the Voronezh State University, Voronezh, mzaridze@mail.ru

### Ключевые слова:

эколого-геологические системы (ЭГС); месторождения карбонатного сырья; инфраструктура; карьеры; цементная промышленность; экспертная оценка; матрица Леопольда; количественные параметры.

### Key words:

ecological-geological systems; deposits of carbonate raw materials; infrastructure; quarries; cement industry; expert assessment; matrix of Leopold; quantitative characteristics.

### Аннотация

**В статье представлен метод количественной оценки эколого-геологических условий территорий с использованием матрицы Леопольда. Оценочные поля этой матрицы включают анализ техногенного преобразования компонентов эколого-геологических систем (ЭГС) районов добычи и переработки карбонатного сырья под влиянием фиксированных факторов.**

Разработка месторождений карбонатного сырья (КС) формирует специфические эколого-геологические системы (ЭГС), состав и свойства которых зависят от их техногенной инфраструктуры. Авторы предлагают понимать под ней комплекс техногенных производственных циклов и природных объектов, обеспечивающих процесс добычи и переработки карбонатного сырья. Рассмотрим основные отличительные особенности этой инфраструктуры.

1. Приуроченность карьеров к территориям с высокой плотностью населения. Авторами проведена систематизация данных по размещению предприятий по добыче и производству карбонатного сырья (ИДиП КС) на территории России (табл. 1). При этом выявлено, что около 90% карбонатных месторождений, разрабатываемых для цементной промышленности, расположено в пределах городских и сельских поселений. К таким месторождениям относятся [6]:

- Сокольско-Ситовское (известняки);
- Себряковское (мел, глины);
- Борисовское (известняки);
- Пикалевское (известняки, глины);
- Фокинское (мел, глины);
- Белгородское (мел);
- Подгоренское (мергель);
- Шеинское (известняки, глины);
- Донское (известняки) и т.д.

2. Комплексное взаимодействие разрабатываемых карьеров и предприятий по переработке сырья и про-

### Abstract

**The article presents a quantitative assessment method of the ecological-geological conditions of territories using the matrix of Leopold. Evaluation fields of the matrix include analysis of technogenic transformation of components of ecological-geological systems in areas of mining and processing of carbonate raw materials under influence of certain factors.**



изводству цемента. Практически все крупные цементные заводы России пространственно приурочены к месторождениям карбонатного сырья (см. табл. 1) [6].

Добыча и переработка карбонатного сырья включает следующие *основные производственные циклы*:

- разработка карьеров: снятие и селективное захоронение плодородного слоя почвы; отработка вскрышных пород, формирование отвалов;
- строительство предприятий по переработке карбонатного сырья;
- добыча полезного ископаемого: его дробление с использованием буровзрывных работ и механического рыхления; погрузка горной массы с помощью экскаваторов; транспортировка автосамосвалами и желез-

нодорожным транспортом; отвалообразование некондиционной породы; рекультивационные работы;

- переработка карбонатных пород:
  - дробильно-сортировочные работы (дробление, сортировка, обогащение), сопровождаемые значительным пылением;
  - производство цемента: производство шлама для изготовления клинкера с использованием карбонатного сырья; обжиг сырьевой смеси (шлама) во вращающихся печах различной длины и диаметра при температуре 900–1200 °С (в холодной части печи на расстоянии 3–5 м устанавливают фильтры-подогреватели, уменьшающие расход тепла на 210 кДж/кг и снижающие запыленность отходя-

Таблица 1

Сырьевая база наиболее крупных цементных заводов России		
Завод	Месторождение сырья	Расположение
ОАО «Себряковцемент»	Себряковское (мел, глины)	Волгоградская обл.
ООО «Тамбов-цемент»	Борисовское (известняки)	г. Тамбов
ЗАО «Пикалевский цемент»	Пикалевское (известняки, глины)	г. Пикалево Ленинградской обл.
ЗАО «Мальцовский портландцемент»	Фокинское (мел, глины, трепел)	г. Фокино Брянской обл.
ЗАО «Осколцемент»	Стойленское (мел, глины)	г. Старый Оскол Белгородской обл.
ЗАО «Белгородский цемент»	Белгородское (мел)	г. Белгород
ОАО «Сухоложскцемент»	Ново-Сухоложское (аргиллиты Нового карьера)	г. Сухой Лог Свердловской обл.
ЗАО «Невьянский цементник»	«Шуралинский карьер» (известняки, глины)	п. Цементный Невьянского р-на Свердловской обл.
ОАО «Новотроицкий цементный завод»	Новотроицкое (известняки, доломитизированные известняки, доломиты)	г. Новотроицк Оренбургской обл.
ОАО «Мордовцемент»	Алексеевское (опоки и мел Ванькинского карьера)	пгт Комсомольский (Мордовия)
ЗАО «Кавказцемент»	Усть-Джегутинское (известняки, глины)	г. Черкесск-15 (Карачаево-Черкессия)
ЗАО «Ульяновскцемент»	Широковское (мел)	г. Новоульяновск Ульяновской обл.
ЗАО «Жигулевские стройматериалы»	«Яблоневый овраг» (известняки)	г. Жигулевск Самарской обл.
ЗАО «Катавский цемент»	«Гора Груздовник» (мергель)	г. Катав-Ивановск Челябинской обл.
ЗАО «Подгоренский цементник»	Подгоренское (мергели)	пгт Подгоренский Воронежской обл.
ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод»	Смеловское (известняки), Приуральское (глины)	г. Магнитогорск Челябинской обл.
ОАО «Уралцемент»	Шейнское (известняки, глины)	г. Коркино Челябинской обл.
ЗАО «Липецкцемент»	Сокольско-Ситовское (известняки Сокольского участка)	г. Липецк Липецкой обл.
ЗАО «Савинский цементный завод»	Огарковское (известняки), Шелековское (глины)	Плесецкий р-н Архангельской обл.
ОАО «Новоросцемент»	Новороссийское (мергель)	г. Новороссийск Краснодарского кр.
ОАО «Вольскцемент»	«Большевик» (мел)	г. Вольск Саратовской обл.
ОАО «Щуровский цемент»	Щуровское (известняки, глины)	г. Коломна Московской обл.
ОАО «Воскресенскцемент»	Афанасьевское (известняки, мергели)	г. Воскресенск Московской обл.
ООО «Топкинский цемент»	Соломинское (известняки, глины)	г. Топки Кемеровской обл.
ОАО «Искитимцемент»	Чернореченское (известняки, глинистые сланцы)	г. Искитим Новосибирской обл.
ОАО «Горнозаводскцемент»	Ново-Пашийское (известняки, глинистые сланцы)	г. Горнозаводск Пермского кр.
ОАО «Ангарский цементно-горный комбинат»	«Перевал» (мраморизированные известняки одноименного карьера, г. Слюдянск)	г. Ангарск Иркутской обл.
ОАО «Спасскцемент»	Спасское (известняки, глины), Длинногорское (известняки, Кулешовское (глины))	г. Спасск-Дальний Приморского кр.
ОАО «Производственное объединение «Якутцемент»»	Сасабытское (известняки, суглинки)	п. Мохсоглох (Якутия)
ООО «Красноярский цемент»	Торгашинское (известняки), Кузнецовское (глины)	г. Красноярск Красноярского кр.

щих газов до 2–3%; повышение температуры газов и их запыленности приводит к загустеванию шлама; на этом участке технологического цикла резко возрастает пыление); помол полученного на выходе из печи клинкера в трубных мельницах открытого или замкнутого цикла (также сопровождается значительным пылением).

Отдельные вопросы разработки месторождений карбонатного сырья и соответствующих производственных циклов фрагментарно рассмотрены в работах [1, 2, 4, 5]. В.В. Бурмистровой предложены рациональные ресурсосберегающие технологии комплексного использования такого сырья с карьеров Ленинградской области [1]. Н.И. Самбуловым выявлено, что при разработке месторождений карбонатного сырья значительно трансформируется рельеф, загрязняются грунтовые воды, развивается подтопление, обусловленное техногенным изменением естественного стока. В зонах влияния дробильного производства формируются литогеохимические аномалии [4]. М.А. Земляной на примере Новороссийского месторождения мергеля обосновал технологическую схему добычи минерального сырья во взаимосвязи с производством цемента с целью снижения в нем уровня вредных примесей [2]. К.В. Шаровым предложены экологически чистые методы невзрывного направленного разрушения пород на основе расширяющейся цементной смеси при разработке гипсовых месторождений [5].

Авторами настоящей статьи в рамках проблем ИДиП КС были рассмотрены различные виды карбонатного сырья, сроки эксплуатации, этапы консервирования и виды разработки его месторождений с целью количественной оценки изменения эколого-геологических условий в районах добычи и переработки этих полезных ископаемых. В данной публикации представлен метод количественной оценки эколого-геологических условий территорий с использованием матрицы Леопольда. Оценочные поля этой матрицы включают анализ техногенного преобразования компонентов эколого-геологических систем (ЭГС) районов добычи и переработки карбонатного сырья под влиянием фиксированных факторов.

На первом этапе методом экспертных оценок по матрице Леопольда авторами выявлены особенности влияния ИДиП КС на прилегающие территории. Эта матрица представляет собой контрольный список, включающий качественную информацию о взаимосвязях типа «причина — следствие» и одновременно являющийся источником информации о результатах действия этих взаимосвязей [3]. Данная модель позволяет оценить степень воздействия отдельных циклов разработки и производства цементного сырья на различные элементы эколого-геологических систем. Также она дает возможность дальнейшей математической формализации информации по различным объектам и сферам воздействия.

В рамках поставленной задачи авторами составлена матрица Леопольда, включающая 16 источников, оказывающих воздействие на 10 компонентов эколого-геологической системы. Значимость экологических аспектов определялась суммированием следующих параметров воздействия на эколого-геологические системы прилегающих территорий: экспозиции (характеристики степени воздействия), обратимости процессов, их времен-

ных параметров. Матрица не содержит рекомендации по процедурам проверки, которые следует выполнять после завершения действия, однако она показывает направление изменения ЭГС, среди которых возможно накопление загрязнений и других негативных воздействий.

При построении матрицы используется балльный подход, причем по горизонтали размещаются элементы эколого-геологической системы, испытывающие влияние ИДиП КС, а по вертикали — источники воздействия на ЭГС (табл. 2).

Для заполнения матрицы Леопольда предлагаются следующие **критерии оценки воздействия**:

- *по времени*: постоянное — 3 балла; циклическое — 2 балла; разовое — 1 балл;
- *по интенсивности*: сильное — 3 балла; среднее — 2 балла; слабое — 1 балл;
- *по обратимости*: необратимое — 3 балла; частично обратимое — 2 балла; обратимое — 1 балл.

При необратимых процессах первоначальное равновесное состояние среды не может быть достигнуто естественным путем — система переходит в иное равновесное состояние. Частично обратимое состояние системы формируется в случае ее преобразования при сохранении отдельных прежних параметров и формировании новых качественных и количественных характеристик. При обратимых процессах восстановление среды происходит естественным путем. При этом внешнее воздействие незначительно, действуют природные процессы самоочищения среды. Система возвращается в первоначальное состояние с теми же самими параметрами.

На втором этапе для количественной характеристики техногенной нагрузки на эколого-геологические системы ИДиП КС рассчитано процентное соотношение вероятности значимого воздействия  $i$ -го источника на все элементы эколого-геологической системы и вероятности значимого воздействия всех источников на  $j$ -й элемент ЭГС при помощи приведенных ниже математических выражений.

Вероятность негативного воздействия за счет  $i$ -го источника по строке матрицы Леопольда предлагается рассчитывать по формуле

$$P_{i\Sigma} = N_{ист.} / N_{общ.}, \quad (1)$$

где  $N_{ист.}$  — сумма баллов воздействия от  $i$ -го источника;  $N_{общ.}$  — сумма баллов воздействия на элементы эколого-геологической системы в заданной матрице.

Вероятность встречаемости элементов ЭГС, испытывающих значимое воздействие от  $i$ -го источника, рассчитывается по формуле

$$P_{iзнач.} = n_{знач.} / n_{общ.эл.} \quad (2)$$

где  $n_{знач.}$  — количество элементов эколого-геологической системы, испытывающих значимое воздействие от  $i$ -го источника (элемент считается значимым, если по экспертной оценке он подвержен трансформации);  $n_{общ.эл.}$  — общее рассматриваемое количество элементов ЭГС.

Вероятность значимого воздействия  $i$ -го источника на элементы ЭГС по строке матрицы Леопольда может быть определена по формуле



$$P_{знач.} = P_{\Sigma} \times P_{знач.} \quad (3)$$

Вероятность негативного воздействия источников на *j*-й элемент эколого-геологической системы по столбцу матрицы Леопольда рассчитывается аналогично.

Процент значимого воздействия определяется по формуле

$$P = P' / \Sigma P \times 100\%, \quad (4)$$

где *P'* — вероятность значимого воздействия в столбце/строке матрицы Леопольда;  $\Sigma P$  — суммарное значимое воздействие от всех источников на все элементы ЭГС.

Вероятность встречаемости незначимого воздействия рассчитывается по формуле

$$P_{незн.} = 1 - P. \quad (5)$$

Данный математический аппарат использован авторами при экспертных оценках степени воздействия ИДиП КС на эколого-геологические системы прилегающих территорий на примере ряда месторождений карбонатного сырья в пределах Восточно-Европейской

платформы. В результате расчетов выявлены основные экологические мишени, а также технологические циклы, оказывающие воздействие в наибольшей степени (табл. 3, 4).

Оценка ИДиП КС с использованием матрицы Леопольда показала, что наиболее сильные воздействия на элементы эколого-геологической системы, имеющие главным образом обратимый характер, оказывают два основных производственных цикла:

- добыча полезного ископаемого: обработка горной породы при помощи буровзрывных работ (выявленный уровень воздействия составляет 11,06% от общей интенсивности воздействий), транспортировка горной массы автосамосвалами (12,98%), а также отвалообразование некондиционной породы (10,42%);
- переработка карбонатных пород, а именно производство цементного сырья: обжиг шлама (10,26%), помол клинкера (9,94%), дробильно-сортировочные работы (6,89%).

По временным параметрам в качестве постоянно действующих факторов выступают: транспортировка горной массы автосамосвалами, обжиг шлама и помол клинкера, дробильно-сортировочные работы и частично отвалообразование некондиционной породы. Цик-

Таблица 2

Матрица Леопольда. Экспертная оценка инфраструктуры по добыче и переработке карбонатного сырья*										
Источник воздействия	Элементы эколого-геологической системы									
	Приповерхностный слой атмосф.	Недра	Рельеф	Почвы (плодородие)	Почвы (химич. загрязн.)	Подзем. воды	Поверхностные воды	Животн. мир	Растит. мир	Здоровье населения
Снятие почв	□ Ц О		□ Ц О	□□□ Ц О	□ Ц О			□□□ П Н/О	□□□ П Н/О	
Селективное захоронение почв	□ Ц О		□□ Ц О	□□□ Ц О				□ Ц О	□ Ц О	
Обработка вскрышных пород	□ Ц О	□□□ Ц О	□□□ Ц О			□□□ Ц Ч		□ Ц Ч	□□□ П Н/О	
Отвалообразование вскрышных пород	□ Ц О		□□□ Ц О					□ Ц О	□ Ц О	
Строительство предприятий по переработке КС	□ Ц О		□ П О	□□□ П Н/О	□ Ц О			□□□ Р О	□□ Р О	
Добыча КС (буровзрывные работы)	□□□ Ц О	□□□ П Н/О	□□□ Ц О	□□ Ц О	□□ Ц О			□□ Ц О	□□ Ц О	□□ Ц О
Добыча КС (механическое рыхление)	□ Ц О	□□□ П Н/О	□□□ Ц О			□				
Погрузка горной массы экскаваторами	□ П О				□ П О					
Транспортировка горной массы автосамосвалами	□□□ П О	□□ П О	□□ П О	□□ П О	□□□ П О			□□□ П О	□□□ П О	□□□ П О
Транспортировка горной массы ж/д транспортом	□ Ц О		□□ Ц О		□ Ц О			□□ Ц О	□ Ц О	
Отвалообразование некондиционной породы	□□ П О		□□□ П О	□□ Ц О	□□ Ц О	□ П О		□□ Ц О	□□ Ц О	□ П О
Дробильно-сортировочные работы	□□□ П О			□□ П О	□□ П О			□□□ П О	□□ П О	□□ П О
Производство цементного сырья (шлама)	□□ П О			□ П О	□ П О			□ П О	□ П О	□ П О
Обжиг шлама	□□□ П О			□□□ П О	□□□ П О		□□ П О	□□□ П О	□□□ П О	□□□ П О
Помол клинкера	□□□ П О			□□□ П О	□□□ П О		□□ П О	□□ П О	□□□ П О	□□□ П О
Рекультивационные работы	□ Р О		□□ П Н/О	□□ П О	□□ П О					

\* Критерии оценки воздействия: (1) по времени: П — постоянное, 3 балла; Ц — циклическое, 2 балла; Р — разовое, 1 балл; (2) по интенсивности: □□□ — сильное, 3 балла; □□ — среднее, 2 балла; □ — слабое, 1 балл; (3) по обратимости: Н/О — необратимое, 3 балла; Ч — частично обратимое, 2 балла; О — обратимое, 1 балл.

лические воздействия оказываются в процессе добычи сырья при буровзрывных работах (здесь постоянны по времени нарушения недр, характер изменений которых необратим), а также в некоторых случаях при отвалообразовании некондиционной породы (при влиянии на почвы, растительный и животный мир). При воздействиях со стороны буровзрывных работ, транспортировки горной массы автосамосвалами, обжига шлама и дробильно-сортировочных работ влияние на почвы обратимо.

Также *значимые воздействия* оказывают:

1) разработка карьера:

- отработка вскрышных пород (7,05%; воздействие носит циклический характер, за исключением постоянного по времени и необратимого угнетения растительности; частично обратимым является состояние подземных вод и животного мира; остальные параметры компонентов ЭГС обратимы);
- снятие почв (6,57%; для растительного и животного мира воздействие постоянно по времени и необратимо; для рельефа оно является циклическим и обратимым);

- 2) строительство предприятий по переработке карбонатного сырья (5,61%; в зависимости от компонента среды, испытывающего нагрузку, данное воздействие по времени проявляется как разовое, циклическое или постоянное, главным образом обратимое; в частном случае оно носит необратимый характер при влиянии на плодородие почв);
- 3) переработка карбонатных пород — производство цементного сырья, то есть шлама (5,61%; данное воздействие на компоненты природной среды постоянно по времени и носит обратимый характер).

*Незначительные воздействия* оказывают: селективное захоронение почв (3,1%), рекультивационные работы (3,52%), транспортировка полезного ископаемого железнодорожным транспортом (3,21%), отвалообразование вскрышных пород (2,08%), добыча карбонатного сырья при помощи механического рыхления (1,6%), погрузка горных пород экскаваторами (0,48%). Данные виды воздействий являются главным образом циклическими по времени и имеют обратимый характер (исключение составляют рекультивационные работы).

Из элементов эколого-геологической системы *воздействия в наибольшей степени испытывают*:

Таблица 3

Степень воздействия отдельных источников ИДиП КС на эколого-геологическую систему					
Источник воздействия	Сумма баллов воздействия на все элементы	Вероятность вредного воздействия за счет <i>i</i> -го источника $P_{i\Sigma} = N_{ист.} / N_{общ.}$	Вероятность встречаемости элементов ЭГС, испытывающих значимое воздействие от <i>i</i> -го источника $P_{iзнач.} = n_{знач.} / n_{общ.эл.}$	Вероятность значимого воздействия <i>i</i> -го источника на ЭГС $P = P_{i\Sigma} \times P_{iзнач.}$	Доля от значимого воздействия на ЭГС отдельного источника, %
Снятие почв	36	0,068	0,6	0,041	6,57
Селективное захоронение почв	23	0,044	0,5	0,022	3,52
Отработка вскрышных пород	37	0,074	0,6	0,044	7,05
Отвалообразование вскрышных пород	18	0,034	0,4	0,013	2,08
Строительство предприятий по переработке КС	31	0,059	0,6	0,035	5,61
Добыча КС (буровзрывные работы)	46	0,087	0,8	0,069	11,06
Добыча КС (механическое рыхление)	19	0,036	0,3	0,01	1,60
Погрузка горной массы экскаваторами	10	0,019	0,2	0,003	0,48
Транспортировка горной массы автосамосвалами	53	0,101	0,8	0,081	12,98
Транспортировка горной массы ж/д транспортом	22	0,041	0,5	0,020	3,21
Отвалообразование некондиционной породы	43	0,082	0,8	0,065	10,42
Дробильно-сортировочные работы	38	0,072	0,6	0,043	6,89
Производство цементного сырья (шлама)	31	0,059	0,6	0,035	5,61
Обжиг шлама	48	0,091	0,7	0,064	10,26
Помол клинкера	47	0,089	0,7	0,062	9,94
Рекультивационные работы	23	0,044	0,4	0,017	2,72
Вероятность полной группы воздействий источников	525	1,000	-	0,624	100,00



Степень аддитивного воздействия источников ИДП КС на отдельные компоненты эколого-геологической системы					
Элементы ЭГС	Сумма баллов воздействия от всех источников	Вероятность вредного воздействия всех источников на <i>j</i> -й элемент ЭГС $P_{j\Sigma} = N_{\text{элемент}} / N_{\text{общ.}}$	Вероятность встречаемости значимых источников воздействия для <i>j</i> -го элемента ЭГС $P_{j\text{знач.}} = n_{\text{знач.}} / n_{\text{общ.источ.}}$	Вероятность воздействия значимых источников на <i>j</i> -й элемент ЭГС $P = P_{j\Sigma} \times P_{j\text{знач.}}$	Доля значимого воздействия на ЭГС всех источников, %
Приповерхностный слой атмосферы	82	0,156	1,000	0,156	22,08
Недра	30	0,057	0,250	0,014	1,98
Рельеф	64	0,122	0,687	0,084	11,87
Почвы (плодородие)	68	0,129	0,687	0,089	12,58
Почвы (химическое загрязнение)	65	0,124	0,750	0,093	13,15
Подземные воды	12	0,024	0,125	0,003	0,43
Поверхностные воды	12	0,023	0,125	0,002	0,28
Животный мир	74	0,141	0,812	0,114	16,13
Растительный мир	76	0,144	0,812	0,117	16,55
Здоровье населения	42	0,080	0,437	0,035	4,95
Вероятность полной группы воздействий на элементы	525	1,000	-	0,707	100,00

- приповерхностный слой атмосферы (22,08 % от общей интенсивности; воздействия являются постоянными, реже циклическими по времени; состояние атмосферы при этом обратимо);
- растительный (16,55%) и животный (16,13%) мир (воздействия носят как обратимый, так и необратимый характер; по времени они чаще всего являются постоянными или циклическими, реже разовыми);
- почвы (13,15% от общей интенсивности составляет их химическое загрязнение; по времени воздействия оно является постоянным или циклическим, по характеру — обратимым или слабого уровня обратимости; ухудшение плодородия составляет 12,58%).

Изменения в рельефе местности оцениваются величиной 11,87% (воздействие циклическое, реже постоянное, по характеру обратимое, при рекультивационных работах необратимое).

Здоровье населения испытывает влияние, составляющее 4,95% от общей интенсивности воздействий на элементы ЭГС. Оно постоянно по времени, характеризуется обратимостью.

Воздействие на недра составляет 1,98% от общей интенсивности. При добычных работах оно постоянное и необратимое, при отработке вскрышных работ — циклическое и обратимое, при транспортировке горной массы автосамосвалами — постоянное и обратимое.

На подземные (0,43%) и поверхностные воды (0,28%) оказывается минимальное воздействие, чаще всего обратимое и постоянное (исключение составляет влияние на подземные воды со стороны вскрышных работ, являющееся циклическим и частично обратимым).

Таким образом, на основе изложенного в статье можно сделать следующие **выводы**.

1. Используемая в данной работе методика позволила выделить основные экологические мишени и источники воздействия, преобразующие природные эколого-геологические системы. К первым относятся приповерхностный слой атмосферы, растительный и животный мир. Основными инструментами воздействия

являются буровзрывные работы при добыче полезного ископаемого и технологические циклы производства цемента при его переработке.

2. Достоинством методики, основанной на экспертных оценках, является возможность не только получить качественную картину преобразования эколого-геологических систем в районах добычи и переработки карбонатного сырья, но и дать количественную оценку степени их преобразования. Подобный подход позволяет повысить уровень достоверности экспертной оценки, дает возможность сравнения экологической эффективности различных вариантов разработки месторождений и безопасности применяемых технологий. 🔄

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурмистрова В.В. Проблемы переработки и утилизации Ca-содержащих отходов горного производства Ленинградской области в условиях рыночной экономики // Тезисы докладов 3-й Санкт-Петербургской ассамблеи молодых ученых и специалистов. СПб., 1998. С. 30.
2. Земляной М.А. Оптимизация технологической схемы разработки мергеля для производства цемента // Материалы 5-й Международной научной конференции «Проблемы геологии, геоэкологии и минерагении Юга России и Кавказа». Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2006. С. 250–254.
3. Ионин В.А., Щипанов Ю.Б. Временные методические рекомендации по оценке на стадии ТЭО воздействия на окружающую среду (ОВОС) подземных сооружений для строительства в г. Москве. М.: Мосинжпроект, Центр практической геоэкологии МГУ, 1995 46 с.
4. Самбулов Н.И. Методические основы геоэкологического мониторинга районов горнодобывающих предприятий // Совершенствование наземного обеспечения авиации: межвузовский сборник научных трудов. Воронеж: Изд-во ВВАИИ, 2002. С. 84–88.
5. Шаров К.В. Обоснование эффективного метода контроля толщины камер при подземной разработке гипсового месторождения // Материалы научной конференции МГГА. М.: Изд-во МГГА, 1994. С. 163.
6. Электронные каталоги геологической изученности месторождений, карьеров России / Сайт «Rusnedra. Месторождения, карьеры России». 2013. URL: <http://tvnedra.ru>.