

|                         |                            |            |  |                      |          |
|-------------------------|----------------------------|------------|--|----------------------|----------|
| <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>4</b> |



|  | <b>Название статьи</b>   | <b>Страницы</b> | <b>Цит.</b> |
|--|--|-----------------|-------------|
|  | <b>КОЛОНКА М.И. БОГДАНОВА</b>  | <b>4-7</b>      | <b>0</b>    |
|  | <b>ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ</b>   |                 |             |
|  | <b>ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АН СССР ВИКТОР ПРОКОПЬЕВИЧ СОЛОНЕНКО (1916-1988)</b><br><b>Шибаква В.С.</b>  | <b>8-19</b>     | <b>1</b>    |
|  | <b>ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИЙ</b>  |                 |             |
|  | <b>УРОКИ НАВОДНЕНИЙ В КРЫМСКЕ И НА АМУРЕ: МНЕНИЕ ИНЖЕНЕР-ГЕОЛОГОВ</b><br><b>Трофимов В.Т., Королев В.А.</b>  | <b>20-25</b>    | <b>0</b>    |
|  | <b>РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ</b>  |                 |             |
|  | <b>ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАССЫ ГАЗОПРОВОДА БОВАНЕНКОВО - УХТА НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ И СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ</b><br><b>Крюков А.В., Грива Г.И., Брушков А.В.</b> | <b>26-33</b>    | <b>1</b>    |
|  | <b>КАРБОНАТНЫЙ ЭЛЮВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ Г. КАЗАНИ</b><br><b>Муравьев Ф.А., Жаркова Н.И., Латыпов А.И.</b>  | <b>34-43</b>    | <b>1</b>    |
|  | <b>ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН ПОЛУОСТРОВА МУРАВЬЕВА-АМУРСКОГО (МОРФОСТРУКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ)</b><br><b>Мясников Е.А., Коробов В.В., Сорокин П.С.</b>         | <b>44-53</b>    | <b>2</b>    |
|  | <b>ГРУНТОВЕДЕНИЕ</b>   |                 |             |
|  | <b>ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАСОМАТИТОВ СЕРПЕНТИНИТОВОЙ ФОРМАЦИИ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА</b><br><b>Алексеев А.Ф., Грязнов О.Н.</b>                                     | <b>54-59</b>    | <b>0</b>    |
|  | <b>ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОТ СТЕПЕНИ ИХ НЕОДНОРОДНОСТИ</b><br><b>Тер-мартirosян З.Г., Мирный А.Ю.</b>  | <b>60-67</b>    | <b>0</b>    |
|  | <b>ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ</b>  |                 |             |
|  | <b>ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА В РЕЗУЛЬТАТЕ МОДИФИКАЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ</b><br><b>Малахова Е.В., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С., Коршунов А.А.</b>                               | <b>68-70</b>    | <b>0</b>    |
|  | <b>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ</b>   | <b>73</b>       | <b>0</b>    |



# ЧАШКА БЕЛОСНЕЖНОГО КОФЕ, ИЛИ СКОЛЬКО ЖИВУТ ДИКТАТУРЫ

«Почему одни автократии живут дольше других и от чего это зависит? Ответить на эти вопросы непросто, поскольку режимы, определяемые как автократии, отличаются большим разнообразием как по степени своей выживаемости, так и по устойчивости к кризисам. Одни диктатуры длятся по несколько недель, другие — тысячелетиями. В XX в. среди немонархических режимов чемпион по длительности — либерийский режим Партии истинных виггов: 102 года (1878-1980). А вот, например, Боливия — лидер по числу краткосрочных военных диктатур: с начала XIX в. их там насчитывается 14 штук. Также велико разнообразие по срокам правления самих диктаторов. Среди немонархических диктаторов в XX в. рекорд правления принадлежит Фиделю Кастро, который 52 года вел Кубу к светлому коммунистическому будущему (среди монархов рекорд у короля Свазиленда Собузе II — 82 почетных года). Иосиф Сталин со своими 30 годами у власти — на скромном тридцатом же месте. А вот, например, венесуэльский Педро Кармона Эстанга всего два дня возглавлял новый режим (12-13 апреля 2002 г.) в результате попытки военного переворота против Чавеса»\*.

«Политолог Барбара Геддес (в статье *What Do We Know About Democratization After Twenty Years*) показывает, что из трех наиболее распространенных в XX в. типов автократий — персоналистского, однопартийного и военного — самыми живучими (в среднем 23 года жизни) чаще оказывались однопартийные системы, т.е. те, где одна партия полностью доминирует в политической жизни страны, например Советский Союз, Вьетнам или Китай (средняя продолжительность жизни персоналистских автократий — 15 лет, военных — 9 лет). Однопартийные системы отличаются очень высоким уровнем институционализации и кооперации между членами партии, неуязвимостью к внутриэлитным конфликтам. Система внутрисистемных сдержек и противовесов в них такова, что ни одна из сторон не заинтересована — и не в состоянии — нарушить баланс. Передача же власти осуществляется через партийные механизмы»\*.

Самолет летел в Сочи. Снова в Сочи. На одном из олимпийских объектов сотрудники института уже более года вели наблюдения за деформациями грунтового массива, выполняли геофизические работы. Мне надо было в очередной раз встретиться с нашим полевым отрядом и посмотреть, что изменилось на объекте.

Ранее утро. Хотелось спать. Ожидание кофе, который предлагают пассажирам. Черный кофе утром, когда хочется спать, это замечательно. Сквозь дрему вспомнился другой кофе — белый. Мне никогда не доводилось его видеть, не доводилось его пробовать. Но одна история про белый, белоснежный кофе, рассказанная моим знакомым, запомнилась.

Было лето. Какой это был год не столь важно. Это был год, когда Саддам Хусейн все еще был лидером Ирака, но эмбарго на поставки нефти уже действовало. Два уважаемых человека ехали к Хусейну. Долетев до одной из близлежащих стран, они пересели во встречающий их джип и понеслись по пустыне в сторону Багдада. Длинная дорога, однообразие которой только раз было нарушено короткой автоматной очередью, выпущенной по их автомобилю. Несколько пробоин в кузове. Живы, раненных нет. Ответный огонь автоматов сопровождающих и резко возросшая скорость машины позволили вновь добиться однообразия путешествия. Ничего беспокоящего. Дорога. Пустыня.

**«Перефразируя Льва Толстого, политологи шутят, что «все демократии похожи друг на друга, но каждая автократия несчастна по-своему».\***

На следующий день они встретились с Саддамом Хусейном. Я не знаю, о чем они говорили (немедленно забыл все рассказанное мне). Запомнилось лишь одно. Иракский диктатор поразил их белоснежным кофе, необыкновенно душистым и крепким, который им подавали в очень маленьких чашечках. Крепчайший белоснежный кофе. Это одна из историй, связанных с диктаторами.

Другая история. В самолете, летящем в Пермь, мне в газете попала статья Марии Гайдар и Марии Снеговой «Почему одни авторитарные режимы живут дольше других». Статья о диктаторах и диктатурах. Интересно.

\* Цитата по: «Почему одни авторитарные режимы живут дольше других». Мария Гайдар, Мария Снеговая // *Ведомости*, 29.07.2013 (<http://www.vedomosti.ru/opinion/news/14655661/kak-dolgo-zhivut-iktatory#ixzz2du1UmveC>)



Гайдар с соавтором отмечают, что в XX веке существовали три наиболее распространенных типа недемократических режимов, автократий — персоналистский, однопартийный и военный. При этом, по их мнению, суть персоналистского режима такова, что лидер вынужден постоянно ослаблять институты из боязни невзначай создать себе сильных конкурентов или ограничить свою власть. Кроме того, по той же причине «он вынужден осуществлять постоянную ротацию элит (чтобы никто из его приспешников не чувствовал себя слишком независимым от монаршей воли). Отсюда — институциональная слабость персоналистских систем и их уязвимость перед кризисами. К тому же у персоналистского лидера обычно нет сильной базы поддержки (система держится на личности руководителя, а не на прочной институциональной базе партийного типа), поэтому, чтобы обеспечить себе лояльность элит и поддержку населения, лидер вынужден все время подкупать их материальными и нематериальными благами. Отсюда высокая коррупционность таких систем (доступ к должностям — один из способов подкупа элит). С одной стороны, группа поддержки персоналистского лидера относительно невелика, но, с другой стороны, ему необходим постоянный денежный поток для подкупа своих сторонников... Это означает, что персоналистские системы особенно уязвимы к экономическим кризисам: если не будет денег на подкуп бюрократии и армии, режиму несдобровать».

Эти описания различных недемократических способов удержания власти напомнили мне ситуацию в Национальном объединении изыскателей с обязательным членством. Такая маленькая «тюрьма народов» для отдельно взятой отрасли, послушно платящей обязательные членские взносы, которые хочется скорее назвать поборами. Недовольство значительной части изыскателей положением дел в отрасли, недовольство даже членов Совета Национального объединения изыскателей выбранным ими президентом НОИЗ. Президента хотят переизбрать — он послушно пишет заявление о собственной отставке. Добровольной. Но не сейчас. Ему всего 79 лет. Он жалобно просит Совет позволить ему еще немножко... Порулить... Ну пожалуйста... Заявление об отставке написано. Все успокоились. Все решено, надо лишь немножко подождать. Тут президент НОИЗ отзывает свое заявление. Это его заявление. Хочет пишет. Хочет отзывает. Ему теперь всего 80 лет. Он еще готов послужить изыскателям, которые в большинстве своем ждут перемен. У меня возникает ассоциация с наперсточниками, которые ловко обыгрывали глупых-глупых пассажиров на вокзалах... Но президент НОИЗ опытный чиновник. Опытный человек. Опытный руководитель. Практически 600 миллионов рублей выручки в год при наличии в организации около 25 человек производственного персонала... Это надо уметь. Любят его заказчики. Желают. Хотят, чтобы этот мощнейший коллектив освоил их сотни миллионов

«Стивен Левитский и Люкан Вей в недавно опубликованной в *Journal of Democracy* статье (*Durability of Revolutionary Regimes*) обращают внимание на общую черту самых живучих автократий XX в.: все они возникли в результате социальных революций (Китай, Куба, Иран, Мексика, СССР) или национально-освободительной борьбы (Ангола, Мозамбик, Вьетнам, Зимбабве). Многие из самых «бородатых» автократий XX в. (Мексика — 83 года, СССР — 74 года, Китай — свыше 63 лет, Куба — свыше 54 лет, Вьетнам — свыше 59 лет и т. д.) — за вычетом нефтеэкспортирующих монархий Персидского залива — были рождены масштабными насильственными революциями. И после распада СССР сохранились лишь те режимы, которые вышли из кровавых гражданских войн (Китай, Куба, Лаос, Северная Корея, Вьетнам, Ангола, Мозамбик, Зимбабве).

По мысли авторов, родовая травма в виде кровавого социального конфликта выполняет несколько благотворных для будущей диктатуры функций. Во-первых, она уничтожает независимые центры власти, в том числе институты традиционной власти, независимую церковь, землевладельческие элиты и др. Новое правительство, таким образом, может без особого сопротивления монополизировать власть. Например, Гражданская война 1918-1920 гг. позволила большевикам уничтожить многих конкурентов (в том числе эсеров, которые до войны набрали наибольшее число голосов на парламентских выборах). Во-вторых, революции создают сильные правящие партии. Новое правительство организует власть по примеру армии, с военной дисциплиной и структурой подчинения. Также военный конфликт усиливает сплоченность элит, их партийную идентичность и ведет к появлению лидеров с высоким уровнем легитимности и народной поддержки (под лозунгами «Наш спаситель», «Принес стабильность» и т.д.). В-третьих, революционные режимы отличаются неуязвимостью к военным переворотам прежде всего потому, что идеологически и организационно революционная армия оказывается на стороне нового режима. Ну и, в-четвертых, революции создают мощные аппараты принуждения, уничтожающие оппозицию и облегчающие новому режиму задачу выживания. Таким образом, авторитарные системы, возникшие на месте слабых или разрушенных институтов, имеют больше шансов выжить, однако только при условии, что смогут впоследствии выстроить четкую институционализированную систему наследования власти на месте старой, уничтоженной революцией»\*.



рублей. Наверно это работает волшебное слово. Ну пожалуйста...

Это диктатура? На мой взгляд, да. Если большинство изыскателей хочет перемен, но вынуждены вновь и вновь видеть во главе Национального объединения изыскателей человека, которого многие воспринимают, как бы это помягче сказать, как не совсем достойного, на мой взгляд, это диктатура. В октябре очередные перевыборы президента НОИЗ. С большой вероятностью «оппозиция» не договорится, кто пойдет как единый кандидат от них на выборы против аксакала. Аксакал выставит вновь свою кандидатуру на выборы и еще подготовит пару альтернатив-дублеров, которые в случае чего станут его «вторым я». Его вновь поддержат сплоченные коммерческие СРО. Да и почему же не сплотиться, если один человек представляет на выборах 5 СРО? Мне всегда проще договориться о поддержке моей позиции с самим собой! Для коммерческих СРО с одним хозяином это не сложнее... Президент НОИЗ останется на своем посту. Может быть, добавит к титулу слово «почетный». Почетный Президент.

На сколько времени это еще изыскателям? Мария Гайдар предоставляет статистические данные. Средняя продолжительность «жизни» персоналистских автократий — 15 лет. Действующий президент НОИЗ занимает этот пост с 2009 года. Так что, по статистике, всего еще 11 лет и

91-летний президент, не исключено, покинет свой пост в Национальном объединении изыскателей. Так что, дорогие изыскатели, ждать осталось недолго!

Внимательнее! Вы это можете! Так под каким наперстком шарик?

Надо будет как-нибудь попробовать белый кофе...

**М.И. Богданов**

*Настоящая Колонка была написана в середине сентября 2013 года. 25 сентября 2013 г. была попытка провести Совет НОИЗ, который не состоялся из-за отсутствия кворума. А 3 октября 2013 г. по этой же причине не состоялся Съезд НОИЗ. Тогда же Президент НОИЗ сообщил, что он изменил свое решение об отставке в октябре. 30 октября 2013 г. была совершена еще одна попытка провести заседание Совета НОИЗ, на котором предполагалось назначить дату проведения отчетно-перевыборного Съезда в декабре. Но эта и эта попытка закончилась тем, что Президент НОИЗ сумел убедить оппозицию не проводить отчетно-перевыборный Съезд в 2013 году и, более того, потребовал обещания, что если Съезд в декабре состоится для утверждения бюджета, оппозиция не будет пытаться на нем его переизбрать. Прогнозы подтверждаются. Мы еще не знаем, каким образом Л.Г. Кушницр будет добиваться продления своих полномочий до ... года, но понимаем, что, скорее всего, он будет бороться за право руководить до последнего. Он же помнит о судьбе диктаторов после...*

*На одном из последних съездов НОИЗ меня позабавил замечательный спектакль для нас, барашков. Я тут же представил себе фильм про сельский заезжий цирк начала 20 века. Шатер на пыльной площади. Шоу и опасные аттракционы. Соревнования мощнейших и лучших борцов или боксеров из соседнего Козельска и голос ведущего на арене. «А теперь господа, перед вами на арене Мощный Акимов и Супермощный Кушницр! Вот они, наши гиганты! Вот эти люди, о которых слагают легенды! Они перед вами! Они ведут бой! Честный бой! Они сражаются! Они честно сражаются! Это честный, честный, честный бой! Это честный бой, повторяю! Акимов наступает! Акимов еще наступает! Мощный Акимов наносит свой классический ханты-мансийский удар! Слева снизу, резко, красиво! Молодец, молодец Акимов! Вот, сейчас, почти!!!! Но... Но побеждает супермощный, супермудрый и суперчестный! Побеждает Супермощнейший! Побеждает Кушницр! Ура, господа! Ура победителю! Урррра Супермощному! Есть люди в нашем Козельске, есть! Троекратное ура победителю! Урррра! Виктор Иванович, срочно подай полотенце победителю! Надо утереть пот герою! Ты чего Витя, забыл уже, как прислуживать надо? Спасибо всем вам, кто принял участие в этом честном поединке двух злейших врагов — Кушницра и Акимова! Злейшие враги, пожмите друг другу руки. Это же спорт и вы не должны ненавидеть друг друга после честного поединка! Не будете? Ну, молодцы! Душечки! Даже дружить обещаете? Ну совсем молодцы! Что значит настоящие спортсмены – пять минут назад готовые убить друг друга, а теперь, нежно держась под руку, идущие рядом, идущие отмечать победу! Деньги за входные билетки получены. Андрюшка, деньги забрал? Спасибо! Спасибо всем! Вы все свободны. Ну, в смысле, пошли вон, козлы. Пошли вон! Вон вам сказали! Вон! Все поняли? Выборы, в смысле поединков, закончились!». Впрочем, это невероятные картинки из буржуазного прошлого, не имеющие ну никакого отношения к нашему светлому изыскательскому настоящему. Совпадение любых фамилий и фактов в данном тексте, конечно, не имеет никакого отношения к реальной жизни. Продукт воображения. Титры со словами о том, что ни одна кошечка или собачушечка при всем произошедшем травмирована не была, появляются на экране.*

**М.И.Б.**

# ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АН СССР ВИКТОР ПРОКОПЬЕВИЧ СОЛОНЕНКО (1916–1988)

## CORRESPONDING MEMBER OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR VIKTOR PROKOPYEVICH SOLOLENKO (1916–1988)

### ШИБАКОВА В.С.

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

#### Ключевые слова:

В.П. Солоненко; член-корреспондент АН СССР; Восточно-Сибирская секция Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии; инженерная геология; сейсмогеология; палеосейсмогеологический метод исследований; Восточная Сибирь.

#### Аннотация

Данная публикация продолжает серию статей В.С. Шибаковой о Научном совете АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии и об ученых, которые были с ним связаны. Она посвящена члену-корреспонденту АН СССР Виктору Прокопьевичу Солоненко (1916–1988), который был инициатором создания и председателем Восточно-Сибирской секции Научного совета.

#### Abstract

The publication continues the series of articles by V.S. Shibakova about the Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology and about scientists who were associated with it. The paper is devoted to corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR Viktor Prokopyevich Solonenko (1916–1988 rr.) who initiated creation of the East-Siberian Section of the Scientific Council and was its chairman.

### SHIBAKOVA V.S.

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

#### Key words:

V.P. Solonenko; corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR; East-Siberian Section of the Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology; engineering geology; seismogeology; paleoseismogeological research method; Eastern Siberia.

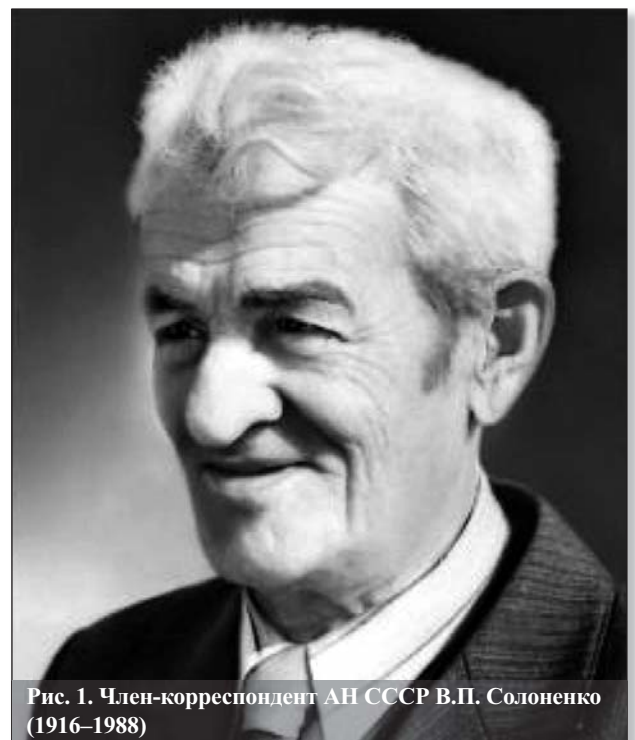


Рис. 1. Член-корреспондент АН СССР В.П. Солоненко (1916–1988)

Виктор Прокопьевич Солоненко был выдающимся советским ученым — геологом, геофизиком, основоположником инженерной геологии в Восточной Сибири. Его работы привели к созданию нового научного направления в геологической науке «сейсмогеология» и разработке палеосейсмогеологического метода исследований. Он создал сибирскую сейсмогеологическую школу, получившую международное признание.

В 1963 году в Советском Союзе была опубликована монография «Гоби-Алтайское землетрясение», написанная коллективом авторов во главе с В.П. Солоненко, а в 1965 году эта книга была переиздана на английском языке в США и Англии. Так началось шествие по планете нового метода исследований в геологической науке.



Идея о том, что вполне реально находить эпицентральные зоны сильных землетрясений и по их следам определять сейсмичность местности, воплотилась в палеосейсмогеологический метод. Каждый год планета испытывает сотни тысяч толчков, и сильнейшие из них оставляют следы на Земле. Метод Солоненко позволяет расшифровать их, сделать выводы о сейсмической опасности местности и оценить силу предстоящих сейсмических катастроф.

В 1966 г. Виктор Прокопьевич был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР по направлению «геофизика» и вошел в первый состав Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению (позже — и гидрогеологии), созданного Е.М. Сергеевым. В 1968 г. он стал членом Международной ассоциации по инженерной геологии (МАИГ).

В.П. Солоненко активно работал в Научном совете, МАИГ, Комиссии по микросейсмическому районированию, выступал с докладами на мероприятиях, организованных советом в Москве, Ташкенте, Иркутске, Ленинграде и других городах, представлял доклады на конгрессы МАИГ.

Виктор Прокопьевич явился инициатором создания Восточно-Сибирской секции Научного совета. Данный вопрос был решен в 1977 г., когда эта секция была создана по постановлению бюро Отделения геологии, геофизики и геохимии АН СССР «с целью координации научных исследований, проводимых в Восточной Сибири, и скорейшего внедрения научных достижений в народное хозяйство». Председателем Восточно-Сибирской секции был утвержден В.П. Солоненко. С ее появлением увеличился перечень научных проблем, координируемых Научным советом, а также значительно расширилась география регионов, в которых активно проводилась его работа. Виктор Прокопьевич сформировал замечательный состав секции. Ее ядро составили ведущие сотрудники Института земной коры (ИЗК) Сибирского отделения АН СССР О.В. Павлов, В.В. Николаев, В.И. Джурик, В.А. Потапов, В.С. Хромовских, Ю.Б. Тржицинский, Э.А. Рубинчик, Ф.Н. Лещиков, представители Института мерзлотоведения (ИМЗ) СО АН СССР, а также специалисты многих проектно-изыскательских трестов Госстроя СССР.

Одновременно В.П. Солоненко являлся председателем Сибирской региональной секции Междуведственного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МСССС), возглавляемого академиком М.А. Садовским (ученым секретарем МСССС работала опытный специалист Н.И. Фролова). Это обстоятельство оказалось решающим для установления тесного научного сотрудничества двух советов.

Деятельность Восточно-Сибирской секции дала большой импульс работе Научного совета. В моих ранее опубликованных статьях приводится большой перечень проведенных советом мероприятий, среди которых упоминаются и восточносибирские.

В 1987 г. была организована выездная сессия Научного совета и МСССС на трассе Байкало-Амурской магистрали на тему «Сейсмичность, инженерная геология, гидрогеология зоны БАМ». В ней приняли участие более 100 специалистов из 50 организаций страны. Было заслушано 35 докладов, а также были приняты оценки результатов проведенных ранее исследований и

даны рекомендации научно-методического характера всем организациям, участвовавшим в работах на БАМ. Участники сессии проехали 2500 км по трассе магистрали в спецпоезде, общаясь и обсуждая накопившиеся вопросы. Они также приняли участие в ряде экскурсий с осмотром строившихся инженерных сооружений. Подробные описания программ заседаний этой выездной сессии в гг. Братске, Северомуйске и п. Северомуйске были опубликованы. Душой этого мероприятия был В.П. Солоненко. Он работал в Восточной Сибири всю свою жизнь и с радостью принимал вместе со своими учениками специалистов из многих регионов нашей страны. Виктор Прокопьевич дарил гостям на память вышедшие под его редакцией тома из многотомной монографии «Геология и сейсмичность зоны БАМ». Такие подарки с личной подписью В.П. Солоненко на одном из них получила и я. Эти книги были использованы среди прочих источников при написании данной статьи.

В 2004 г. сибирские геологи опубликовали книгу о В.П. Солоненко в серии «Наука Сибири в лицах». Это замечательное издание содержит научную биографию Виктора Прокопьевича (исследование его научно-производственной деятельности, проведенное его учениками), воспоминания его современников-сибиряков и

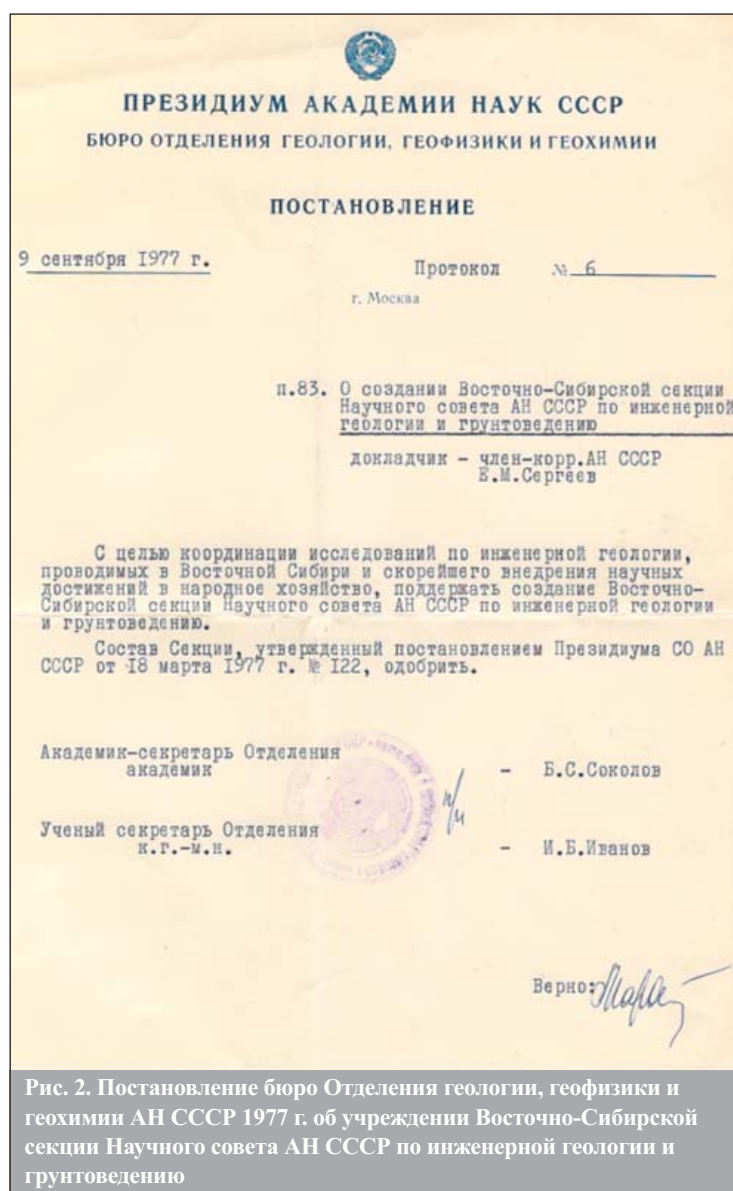


Рис. 2. Постановление бюро Отделения геологии, геофизики и геохимии АН СССР 1977 г. об учреждении Восточно-Сибирской секции Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению

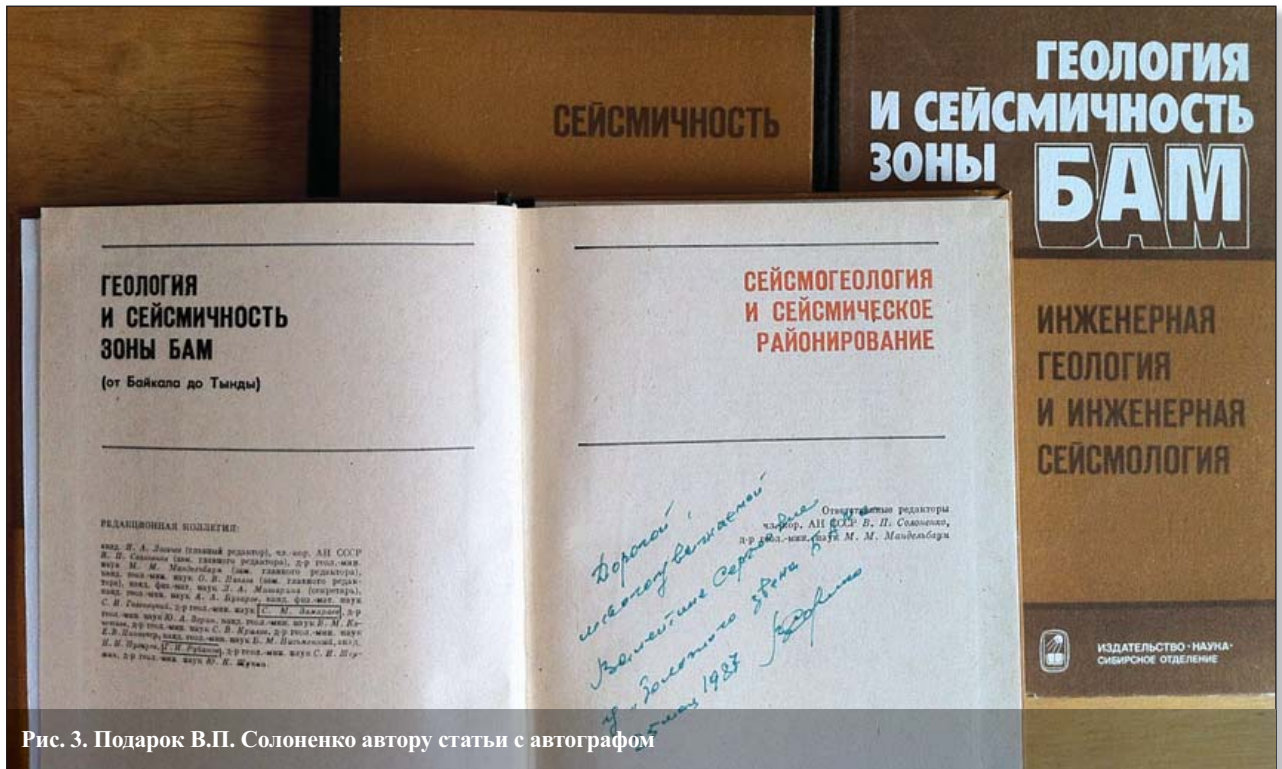


Рис. 3. Подарок В.П. Солоненко автору статьи с автографом

иностранных ученых, библиографию его основных работ, а также его знаменитую статью «Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам». Далее я постараюсь представить основные фрагменты из научной биографии В.П. Солоненко, используя материалы в том числе и из этой книги.

Первые научные разработки Виктора Прокопьевича были в области военной геологии и водоснабжения войск в условиях вечной мерзлоты. Они были направлены на обеспечение эффективности изысканий для оценки инженерно-геологических условий сооружения военных коммуникаций. Кандидатская диссертация В.П. Солоненко «Военная геология в условиях вечной мерзлоты» была защищена в 1943 г. и опубликована в 1944 г. в виде монографии, которая на протяжении многих лет являлась методическим руководством в действующей армии и учебником для военных академий и военно-инженерных школ.



Рис. 4. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Дискуссия во время движения поезда. Сидят на переднем плане (слева направо): В.П. Солоненко, Н.А. Логачев (май 1987 г., фото из книги [1])

Чуть позднее Виктор Прокопьевич занимался решением задач, связанных с поисками и разведкой стратегически важного для страны сырья в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Его теоретические разработки о происхождении графитовых толщ и их районирование по геотектоническому принципу явились фундаментальной основой для прогнозирования и дальнейших поисков проявлений графита. В.П. Солоненко лично открыл более 20 месторождений. Вот описание того периода его жизни, данное академиком Н.А. Логачевым: «Виктор Прокопьевич отличался необыкновенным трудолюбием и в молодые годы мог работать регулярно по 14 часов в сутки. Особенно напряженным выдался конец 40-х годов, когда он готовил отчет о графитовых месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Востока в связи с запросами оборонной и зарождавшейся атомной промышленности. На кафедре динамической геологии его можно было застать рано утром и поздно вечером, когда на факультете не оставалось ни души. Результатом такого сконцентрированного труда явилась монография «Геология месторождений графита Восточной Сибири и Дальнего Востока» (1951 г.), защищенная в МГУ в июне 1952 г. в качестве докторской диссертации. Получение ученой степени доктора наук в неполные 36 лет и звания профессора в неполные 37 лет — абсолютный рекорд раннего созревания не только для геологического факультета университета, но и для всего Иркутска».

В.П. Солоненко постоянно расширял круг своих исследований в области динамической и инженерной геологии, геокриологии и сейсмического районирования. При этом особое внимание он уделял изучению закономерностей развития физико-геологических процессов и явлений, связанных с неотектоникой, сейсмичностью и вечной мерзлотой. Существенное место он отводил изучению таких явлений, как отседание склонов, скальные и снежные обвалы, оползни, солифлюкция, карст, сели в условиях повышенной сейсмич-



ности. Монография Виктора Прокопьевича «Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири», написанная еще в 1947 г., была первым трудом по региональной инженерной геологии и инженерно-геологическому районированию и являлась справочным и нормативным документом для проектировщиков и изыскателей. Ю.Б. Тржицинский писал: «Он первым обратил внимание на инженерно-геологические особенности Восточной Сибири — этого обширного края, простирающегося от долины р. Енисея до Западного Приамурья». В работе «Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири» В.П. Солоненко доказал, что задачи региональной инженерной геологии этой обширной территории определяются сложным геологическим строением, особенностями рельефа, тектоникой и историей формирования геологических структур, а также своеобразными физико-географическими условиями. Он детально охарактеризовал развитие в Восточной Сибири экзогенных геологических процессов. Анализируя грунтовые условия, Виктор Прокопьевич первым привел характеристику лессовых пород и показал опасность и риск возведения народно-хозяйственных объектов на территориях, сложенных этими своеобразными грунтами. Ю.Б. Тржицинский подчеркнул, что указанный научный труд В.П. Солоненко до настоящего времени используется в инженерно-геологической практике и в вузах Иркутска.

Профессор В.П. Солоненко успешно работал в Иркутском университете. Он создал и возглавил кафедру полезных ископаемых и геофизики, с 1953 по 1958 г. являлся деканом геологического факультета, читал лекции студентам, занимался с аспирантами. И вдруг жизнь его круто изменилась. 1957 г. был ознаменован двумя сильными землетрясениями — 10-балльным Муйским, потрясшим 27 июля все Становое нагорье к северо-востоку от Байкала, и 12-балльным Гоби-Алтайским на юге Монголии, волны которого были зафиксированы 4 декабря всеми сейсмостанциями мира. Для оценки последствий Гоби-Алтайского землетрясения по просьбе правительства Монголии была послана группа экспертов из иркутских ученых (Н.А. Флоренсова, В.П. Солоненко и А.А. Трескова), которая вместе с монгольскими коллегами в конце декабря 1957 г. — начале января 1958 г. провела наземное и аэровизуальное обследование всей плейстоценовой области и пришла к выводу об уникальности этого сейсмического события. По постановлению Президиума АН СССР в мае 1958 г. была создана совместная советско-монгольская Гоби-Алтайская экспедиция, базовым для которой был Восточно-Сибирский геологический институт (в 1962 г. переименованный в Институт земной коры) Сибирского отделения АН СССР в Иркутске. Начальником экспедиции был назначен Виктор Прокопьевич, научным руководителем — Н.А. Флоренсов. Таким образом, в 1958 г. В.П. Солоненко стал сотрудником ИЗК СО АН СССР, где он проработал 30 лет — до конца своих дней. «Анализируя весь пройденный путь этого исследователя, неизбежно приходишь к выводу о выдающемся по мировым меркам значении его вклада в науку по соединению геологии и сейсмологии, а также в становление и развитие ИЗК СО РАН», — отмечал академик Н.А. Логачев.

В.П. Солоненко писал: «Детальное изучение палеоценовой области Гоби-Алтайского землетрясения с



Рис. 5. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Слева направо: Л.А. Шимановский, Л.И. Варазашвили, О.Г. Батанова, В.С. Шibaкова, Д.Д. Церетели (ст. Лена, май 1987 г., фото С.Г. Дубейковского)

применением специально проведенной аэрофотосъемки позволило получить не только точный план сейсмодислокаций, но и установить, что при катастрофическом землетрясении в течение нескольких минут образуются все известные в структурной геологии типы разрывных деформаций, а также флексуры, сейсмокупольные, вихревые и другие структурные формы. Кроме того, при этом возникли некоторые типы деформаций,



Рис. 6. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Стоянка поезда в г. Северомуйске. На заднем плане виден Северомуйский хребет (май 1987 г.)



Рис. 7. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Слева направо (анфас): В.С. Шибакова, В.П. Солоненко, А.А. Бухаров, Н.А. Логачев, Е.В. Пиннекер (ст. Лена, май 1987 г., фото из книги [1])

возможность образования которых ранее не подозревалась. Мы здесь имеем в виду клин обрушения с амплитудой вертикального смещения до 328 м, а также срывы и сдвиги вершин гор. В ходе землетрясения хребет Гурбан-Богдо (северная часть Гобийского Алтая) протяженностью 275 км и с высотами до 4000 м поднялся и сдвинулся на восток. Амплитуда видимого вертикального и горизонтального смещения достигала 10 м. Среди сейсмодислокаций ведущее значение имели взбросо-сдвиги, подчиненное положение занимали надвиги, местами выраженные крупными сеймотектоническими рвами, грабены шириной от 800 м до 3,5 км и другие структурные типы. Протяженность главного раз-

лома (Богдо) — 256 км, суммарная длина изученных сейсмодислокаций — 850 км. Довольно редким типом деформаций явились срывы вершин гор. Скол происходил по поверхностям, наклонным под углом 10–15° в сторону от начального эпицентра землетрясения (с запада на восток). Вершины смещались к востоку с некоторым поворотом против часовой стрелки. Диаметр основания смещенных вершин колебался от 100 м до 1,5 км, высота их по вертикали (считая от плоскости сместителя до вершины) — от 50–60 до 350 м. При этом по фронту сорванных вершин возникали надвиговые валы, а по тылу (со стороны эпицентра) — трещины отрыва шириной 10–15 м, а местами и более. Феноменальной оказалась структурная форма Битут — клин обрушения: по системе сбросов часть горы протяженностью несколько более 3 км и шириной 1,1 км опустилась на 328 м. Напряжения, вызванные энергией опускания клина, привели к выдавливанию перед его фронтом меньшего тектонического клина на высоту до 60 м».

Виктор Прокопьевич очень четко описал, какие следы в виде протяженных зон сейсмодислокаций оставляют после себя сильные землетрясения на земной поверхности. Такие признаки особенно заметны и долго сохраняются в открытом рельефе Монголии. И их отыскивали там участники экспедиции. Идеи палеосейсмогеологического метода впервые высказал Н.А. Флоренсов во время именно этой экспедиции в 1958 г. Позднее, в 1960 г., они были соответствующим образом обоснованы и опубликованы. Однако сам Н.А. Флоренсов признавал, что все заслуги по разработке этого метода принадлежат В.П. Солоненко. Начиная с 1962 г. именно статьи Солоненко на эту тему выходят в престижных научных журналах. «Кипучая натура Виктора Прокопьевича, его упорство и настойчивость, исследовательская скрупулезность стали тем сплавом, из которого сформировался палеосейсмогеологический метод», — так пишет его ученик и последователь В.В. Ружич. И делает



Рис. 8. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. В.П. Солоненко перед докладом «Сейсмогеология и сейсмичность Северомуйского тоннеля» (май 1987 г., фото из книги [1])



следующий вывод: «В Советском Союзе в 60-е гг. это был несомненный прорыв в области сейсмологии и сейсморайонирования. Для него потребовались три необходимых условия: сильнейшая сейсмическая катастрофа, идея и незаурядный лидер-организатор, способный протаранить консервативное мышление многих коллег, сложившиеся традиции и мнения авторитетов». Таким лидером в нужное время и в нужном месте и оказался В.П. Солоненко. По результатам работ этой экспедиции в 1963 г. была опубликована упомянутая выше монография «Гоби-Алтайское землетрясение» и ее издание на английском языке, вышедшее в 1965 г. «Потребовалось более двух лет на обработку материалов и написание отчета-монографии, получившей отклик в мире и выведшей ИЗК в лидеры по проблемам сейсмогеотектоники. На исследованиях в Гобийском Алтае у Флоренсова и Солоненко созрела убежденность в возможности определения уровня сейсмической активности по следам, оставленным в структуре и рельефе древними, или “ископаемыми”, землетрясениями. Этот новый для того времени подход, получивший название палеосейсмогеологического метода, был успешно применен Виктор Прокопьевичем и его соратниками при сейсмическом районировании Восточной Сибири и Дальнего Востока», — писал академик Н.А. Логачев. С тех пор на дислокациях Гоби-Алтайского землетрясения с ознакомительными целями побывало много ученых из разных стран, но лишь через 35 лет состоялось повторное изучение полосы сейсмогенных разрывов 1957 г., проведенное российскими, американскими и монгольскими специалистами в 1993–1994 гг.

Вскоре в Институте земной коры была создана структурная ячейка по сейсмологии под руководством В.П. Солоненко, в которую первоначально вошли участники Гоби-Алтайской экспедиции С.Д. Хилько, Р.А. Куррушин, В.М. Жилкин и Н.Ф. Наумов. К началу работ экспедиции на Удокане сейсмогеологическое подразделение оформилось в лабораторию и пополнилось рядом опытных и начинающих специалистов. Вот как вспоминал тот период ее сотрудник В.В. Николаев: «Из многочисленных студентов, которые обучались у Виктора Прокопьевича в госуниверситете, он выбрал наиболее трудолюбивых и перспективных сотрудников, которые прошли с ним “огонь, воду и медные трубы”. Кадры ковались В.П. Солоненко в различных по геодинамическим условиям регионах — Монголии, Прибайкалье, Якутии, Средней Азии, на Кавказе, Становом нагорье, Дальнем Востоке. И после отработки каждого нового полигона появлялись новые монографии, новые идеи, новые диссертации. Костяк экспедиции состоял из молодых, но уже опытных сотрудников, таких как Р.А. Куррушин, О.В. Павлов, С.Д. Хилько, В.С. Хромовских, ставших в дальнейшем ведущими сейсмологами, научными руководителями отдельных тематических исследований и наставниками последующего пополнения экспедиции, а затем и научно-исследовательской лаборатории, заведующим которой был избран В.П. Солоненко (с 4 января 1963 г.) и оставался им до конца жизни. Правда, с 1967 по 1972 г. он, кроме того, занимал должность заместителя директора института по науке».

Академик Н.А. Логачев писал: «По завершении удоканского цикла исследований и издания монографии “Живая тектоника” всем стало ясно, что в Иркутске под



Рис. 9. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. У Северомуйского тоннеля. Слева направо: В.П. Солоненко, Ф.Н. Лещиков, О.В. Павлов (май 1987 г., фото из книги [1])

руководством Солоненко сложилась оригинальная научная школа, нацеленная на изучение внутренних связей сейсмического процесса со структурой, составом и состоянием земных недр. Началась эпоха геологизации сейсмологии, которая продолжалась в течение десятилетия. В 60–70-х гг. главе иркутской школы пришлось затратить немалые усилия, чтобы убедить ведущих ученых Института физики Земли АН СССР — головного учреждения страны по проблемам сейсмичности — в том, что решение теоретических и прикладных задач сейсмологии должно вестись с учетом свойств геологического субстрата. Виктору Прокопьевичу пришлось потратить массу времени на дискуссии и преодоление сопротивления ряда специалистов ИФЗ. Кончилось это тем, что на одном из годовых собраний Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук АН СССР в начале 80-х годов ко мне подошел директор ИФЗ академик Михаил Александрович Садовский и, посетовав



Рис. 10. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Рабочий момент экскурсии в Северомуйский тоннель. В.П. Солоненко и А.М. Лехотинов (май 1987 г., фото из книги [1])

на отсутствие Солоненко (он не участвовал в собрании отделения по болезни), сказал: «Солоненко — единственный, кто стремится проникнуть вглубь сейсмических явлений через их связь с конкретными геологическими условиями. Я сам это понял не сразу, потребовалось время. Прошу передать ему мой привет и просьбу выслать мне его главные работы по проблеме»».

Итак, в 1960-х гг. В.П. Солоненко стал детально заниматься вопросами сейсмичности. Сейсмология и ее ответвления стали средоточием его научных интересов и помыслов, и при этом он продолжал уделять особое внимание геологическим процессам, сопровождающим землетрясения. Виктор Прокопьевич проводил обширный комплекс работ по оценке сейсмической опасности и сейсмическому районированию Восточной Сибири. Для этого он одним из первых предложил использовать не только сейсмостатистические данные, но и геологические материалы. Основываясь именно на таком подходе, В.П. Солоненко совместно с Н.А. Флоренсовым дал прогноз высокой потенциальной сейсмичности Прибайкалья. Этот прогноз подтвердился произошедшими там вскоре сильными землетрясениями (Мондинским в 1950 г., Муйским в 1957 г., Среднебайкальским в 1959 г.), характеризовавшимися интенсивностью 9–10 баллов. Монографии «Среднебайкальское землетрясение 29 августа 1959 г.» (1960 г.), «Катастрофическое Гоби-Алтайское землетрясение 4 декабря 1957 г. Сейсмогеологический очерк» (1960 г.), «Сейсмическое районирование Восточной Сибири» (1963 г.), основным автором которых был В.П. Солоненко, получили общественный резонанс и привлекли внимание к необходимости изучения сейсмичности в Сибири. Карты сейсмического районирования Восточной Сибири, составленные В.П. Солоненко в 1947, 1953, 1956 и 1957 гг., наглядно отражают комплексный подход к обоснованию сейсмической опасности. Работы В.П. Солоненко дали

возможность показать высокую сейсмичную опасность для районов, по которым сейсмостатистические материалы либо совсем отсутствуют, либо не отражают потенциальной сейсмоактивности неотектонических структур.

С накоплением фактических данных методика сейсмического районирования непрерывно совершенствовалась. Академик М.А. Логачев отмечал: «Результаты исследований иркутских сейсмологов, как правило, заканчивались повышением уровня сейсмической опасности той или иной территории, что вызывало иногда открытое, а чаще скрытое сопротивление московских специалистов проектных институтов Госстроя, Минтрансстроя, МПС. В.П. Солоненко пришлось выдерживать много стычек и споров в московских инстанциях, демонстрируя при этом стойкость и непоколебимость в отстаивании выводов и заключений. Некоторые объясняли это упрямством и нежеланием идти навстречу. На самом деле в позиции Солоненко всегда имелись твердый фактологический стержень и убежденность в своей правоте. Негативное отношение некоторых московских специалистов к новым предложениям определялось нежеланием менять технологию проектирования объектов и удорожанием их строительства».

Очень интересно мнение еще одного специалиста — В.В. Ружича: «Понятно, что возникновение и существование в Сибири самостоятельной и самобытной дружины сейсмологов, возглавляемой неуступчивым, одаренным и энергичным лидером, для некоторых других школ, организаций и министерств далеко не всегда было благодатью небесной. Столкновение мнений в оценке сейсмической опасности, в выборе и обосновании методов сейсморайонирования и, наконец, в выводах о том, где можно или нельзя строить важные объекты и коммуникации, напоминали порой военные действия. А воевать Виктор Прокопьевич умел всегда, недаром в военные годы он был высокоавторитетным инженером-геологом. Поэтому сведения о сейсмическом потенциале, дополненные данными, полученными с помощью палеосейсмогеологического метода, стали важным критерием при составлении карт общего и детального сейсмического районирования уже в 60-е гг., и этот вклад позднее полностью оправдал себя, особенно в оценках сейсмической опасности для малоизученной в сейсмическом отношении Восточной Сибири».

Еще в самом начале 1960 г. Виктор Прокопьевич указывал, что современные представления о сейсмичности Восточной Сибири очень быстро могут измениться. Это вскоре и произошло.

В.П. Солоненко был ответственным редактором и основным автором серии следующих монографий, которые освещали строгую последовательность внедрения сейсмогеологических методов в сейсмологию и совершенствования способов и приемов сейсмического районирования и детального сейсмического районирования:

- «Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья» (1966 г.);
- «Сеймотектоника и сейсмичность рифтовой зоны Прибайкалья» (1968 г.);
- «Сеймотектоника и сейсмичность юго-восточной части Восточного Саяна» (1975 г.);
- «Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы» (1977 г.);

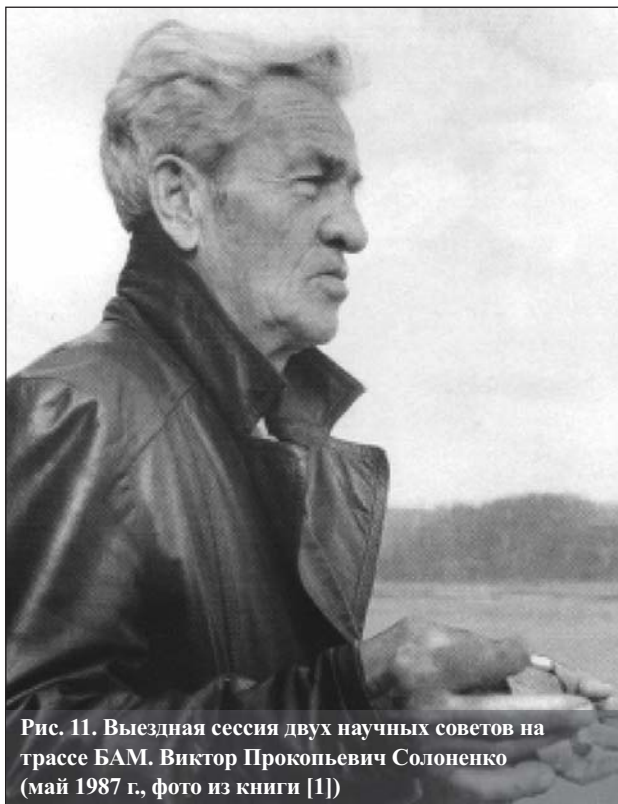


Рис. 11. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Виктор Прокопьевич Солоненко (май 1987 г., фото из книги [1])



Рис. 12. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. У разъезда Бельбукта (места стыковки западного и восточного участков БАМ). Слева направо: Н.А. Логачев, В.П. Солоненко, О.В. Павлов, Е.В. Пиннекер. Крайний справа — А.И. Шеко (май 1987 г., фото из книги [1])

- «Сейсмология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья» (1981 г.).

В те годы в трудах Виктора Прокопьевича сейсмология была одним из главных направлений. Особо следует отметить разработанные им разделы этой науки «инженерная сейсмология» и «сейсмогеокриология».

Многолетние исследования древних и современных землетрясений способствовали накоплению материалов, послуживших основой для построения «Шкалы балльности по сейсмодислокациям», которая наряду с другими шкалами вошла в проект «Усовершенствованной сейсмической шкалы и системы измерений землетрясений».

В.П. Солоненко был первым, кто использовал геологические данные при сейсмическом микрорайонировании отдельных территорий. Он писал: «Результаты инструментального сейсмического районирования в конечном итоге отражают механику грунтов площадки в момент исследования, которая в ходе современного крупного строительства зачастую коренным образом изменяется. Крупные инженерные сооружения не только на себе испытывают влияние грунтовых условий и процессов, но и сами изменяют их, т.е. изменяют сейсмическую опасность строительных площадей. Поэтому при сейсмическом микрорайонировании обязательно нужно учитывать как класс и категорию сооружений, так и особенности взаимодействия системы «грунт с постоянно изменяющимися геотехническими свойствами — сейсмичность — сооружение»».

Исследования Виктора Прокопьевича по изучению Байкальского рифта послужили в дальнейшем основой для оценки сейсмической опасности зоны прохождения БАМ. Практически к началу строительства магистрали им уже была создана карта сейсмического районирования для ее наиболее активного участка и разработан вариант северного (в зоне умеренной сейсмичности) проложения ее трассы, который, к сожалению, не был принят проектировщиками.

В.П. Солоненко и его учениками были проведены палеосейсмогеологические исследования и оценка сейсмической опасности в ряде сейсмоактивных регионов — на Дальнем Востоке, Кавказе, в Средней Азии, Алтае-Саянской области, Северной Корее, Монголии. В монографиях «Палеосейсмология Боль-

шого Кавказа» (1979 г.) и «Сейсмология Монголо-Охотского линеймента» (1979 г.) указывалось, что палеосейсмогеологические данные позволили в ряде регионов серьезно уточнить сейсмический потенциал. Вот как об этом писал академик Н.А. Логачев: «В конце 60-х и в 70-е годы география исследований В.П. Солоненко и его соратников существенно расширяется, охватывая Дальний Восток, Среднюю Азию и Кавказ. В этих новых регионах сейсмологами были получены результаты первостепенного значения, особенно для проектирования и строительства гидротехнических сооружений, таких как Зейская ГЭС и каскад Ингури ГЭС. Позднее в сферу исследований попадают и объекты атомной энергетики — Билибинская и Крымская АЭС, а также планировавшаяся АЭС в Северной Корее. Словом, сейсмогеологические иссле-



Рис. 13. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Осмотр источника термальных вод (май 1987 г., фото С.Г. Дубейковского)

дования иркутян под руководством Солоненко естественным образом оказались широко востребованными и выполнялись главным образом на договорной основе с предприятиями и ведомствами, чем обеспечивалась заметная финансовая подпитка деятельности ИЗК».

О событиях при работе на Кавказе Р.М. Семенов вспоминал: «Несмотря на то что Виктору Прокопьевичу в то время было уже 55, сравниться с ним в преодолении кавказских круч мог далеко не каждый из молодых. Причем в изучении структур он принимал непосредственное участие, не полагаясь на то, что документацию могли сделать и более молодые коллеги. Поражали тщательность и аккуратность дневниковых записей и зарисовок... Виктор Прокопьевич обнаружил структуру Квира, которая находится всего в 15 км восточнее Ингури ГЭС... Он сделал заключение, что сейсмодислокации такого рода могли образоваться при землетрясении не ниже 9 баллов. Трудно себе представить, что произойдет с плотиной, если подобная сейсмическая катастрофа повторится, а при строительстве не будут проведены антисейсмические мероприятия».

Проведенные В.П. Солоненко сейсмогеологические исследования однозначно указали, что ранее принятый для Большого Кавказа верхний уровень сейсмичности, равный 8 баллам по международной сейсмической шкале, или магнитуде 6,75 по шкале Рихтера, был явно занижен. Предстояло отстоять наличие на Кавказе более высокого сейсмического потенциала. Настойчивость Виктора Прокопьевича и приводимые им неоспоримые факты убедили оппонентов в том, что «сейсмический потолок» Кавказа никак не ниже  $M = 7,0$ . Последующие сейсмические события (Спитакское землетрясение 1989 г. с  $M = 7,0$ , Рачинское землетрясение 1990 г. с  $M = 7,1$ ) подтвердили правомерность выводов В.П. Солоненко.

В 1983 г. была издана новая «Карта сейсмического районирования территории СССР» в масштабе 1:5 000 000 — документ государственной важности, в котором были учтены все ранее полученные В.П. Солоненко данные о сейсмичности изученных им районов.

Последней крупной работой коллектива сейсмологов под руководством В.П. Солоненко был заключительный том 8-томного издания «Геология и сейсмичность зоны БАМ» — «Сейсмология и сейсмическое

районирование». Он вобрал в себя результаты исследований живой тектоники и сейсмических условий территорий площадью свыше 15 млн км<sup>2</sup> от северной оконечности озера Байкал до побережья Охотского моря. Он стал итоговим во всей многолетней работе В.П. Солоненко, Института земной коры и организаций-партнеров по уточнению геологических и сейсмических условий строительства Байкало-Амурской магистрали. Этот том дает развернутую сейсмогеологическую картину трассы БАМ и примыкающих к ней территорий на всем 3300-километровом ее протяжении. Работая над данной статьей, я читала эту книгу с неослабевающим интересом. На мой взгляд, она привлекает внимание читателя потому, что является коллективным трудом и все ее авторы — специалисты самого высокого класса, все они участвовали в полевых исследованиях, были ответственными исполнителями по сегментам изучаемой зоны (а научный руководитель, ответственный исполнитель исследований и главный редактор тома В.П. Солоненко работал по всей зоне). Авторам удалось не только написать эту книгу на высокопрофессиональном уровне, но и передать в ней свою увлеченность работой.

Во введении к книге В.П. Солоненко подчеркнул: «Трасса БАМ на участке от Байкальского хребта до р. Олекмы на протяжении около 1100 км проходит в осевой части Байкальского свода по системе кайнозойских впадин байкальского типа. Эта территория является одной из наиболее сейсмоактивных внутриконтинентальных зон Земли и полностью входит в область с уровнем сейсмичности 9 и более баллов при весьма неблагоприятных инженерно-геологических условиях: тектоническая и экзогенная разрушенность скальных пород с жильными льдами, вечная мерзлота с высокольдистыми грунтами и ископаемыми льдами, наледи, термокарст, болота, солифлюкция, оползни, обвалы, лавины, сели, широкое развитие подвижных россыпей (курумов) и т.д.».

В главе «Землетрясения» приведена схема эпицентров сильных землетрясений зоны БАМ и таблица сильных землетрясений по макросейсмическим и инструментальным данным для 160 сейсмических событий. Приводятся также краткие описания некоторых землетрясений, имеющих ту или иную значимость для сейсмического районирования. Ограничусь двумя примерами.



Рис. 14. Лауреаты премии Совета Министров СССР. В.П. Солоненко — второй справа в первом ряду (г. Иркутск, весна 1988 г., фото из книги [1])



1. Великое Восточно-Сибирское землетрясение 1725 г. охватило площадь 4–5 млн км<sup>2</sup>. По макросейсмическим и палеосейсмогеологическим данным его сила достигала 11–12 баллов, магнитуда была не менее 8,3. Была обнаружена появившаяся в результате этого землетрясения система мощных сейсмодислокаций — Чина-Вакатинская структура. Это было редкое и выдающееся сейсмическое событие в зоне БАМ.

2. Муйское землетрясение 27 июня 1957 г. было единственным на территории СССР, отнесенным к классу мировых сейсмических катастроф. Его интенсивность составила 11–12 баллов, магнитуда была равна 7,9. Это землетрясение ощущалось на площади свыше 2 млн км<sup>2</sup>, 8-балльные эффекты отмечались в 150 км, а 6-7 балльные — на расстояниях до 500 км. Сейсмогравитационные явления (оползни, обвалы) наблюдались на площади более 150 тыс. км<sup>2</sup> на эпицентральной дистанции до 350 км (вдоль трассы БАМ — на протяжении примерно 700 км от Верхнеангарского хребта до р. Олекмы). Эпицентральная область была приурочена к Намарокитской эмбриональной впадине байкальского типа (в 30 км восточнее от ст. Куанды и в 60 км юго-западнее Кодарского тоннеля). В результате землетрясения образовалась сложная система сейсмодислокаций общей протяженностью 35 км. Во впадине образовалось озеро Новый Намарокит с первоначальной длиной 3,5 км при ширине 0,6 км. Схему эпицентральной зоны Муйского землетрясения составили В.П. Солоненко и В.А. Авдеев.

Не менее интересен раздел «Сильные землетрясения по палеосейсмогеологическим данным». В зоне БАМ задокументировано 46 палеосейсмогенных структур — следов мощных землетрясений (интенсивностью от 8–9 до 11–12 баллов), данные о которых приведены в данном разделе в отдельной таблице. Самых же таких землетрясений было больше, т.к. некоторые палеосейсмогенные структуры являются не «одноактными», а представляют собой следы 2–6 разновозрастных землетрясений. Если учесть эти данные, то общее число мощных «досейсмостатистических» землетрясений в зоне БАМ — около 60. В качестве примера можно привести структуру Амунда. Ее схема была составлена М.Г. Демьяновичем и В.А. Авдеевым. Система ее дислокаций находится на левом борту Амундской эмбриональной впадины, заложенной вдоль северо-восточного отрезка р. Амунды — правого притока р. Муи — в 40 км от восточного портала Северомуйского тоннеля. Сейсмодислокации структуры представлены рвами и эскарпами. Протяженность рвов — до 500 м, глубина — до 5 м при ширине 8–30 м, разница высот бортов — до 3–4 м. По трассе дислокаций наблюдаются резкие перегибы русел рек с водопадами и каскадом водопадов и сейсмогравитационные формы (обвалы). Эти дислокации деформируют склон, отражаясь на делювиальных отложениях, конусах выноса. В редких случаях отмечены зоны деформаций в коренных породах. Местами по водоразделам отмечаются серии террасированных уступов, сложенных гигантскими глыбами гранитов. По-видимому, их формирование обусловлено смещением скальных блоков под воздействием сейсмических ускорений. Общее направление дислокаций — северо-восточное (65–75°). Параметры системы дислокаций (длина 12 км, амплитуда вертикальных смещений до 3,5 м) могут ха-

рактеризовать плейстоценовую область палеосейсмоземлетрясения интенсивностью до 10 баллов. Многие открытые сейсмогенные геоморфологические формы (рвы, поноры, уступы) поросли кедровым стлаником с максимальным диаметром стволов до 30 см. Стенки отрыва обвалов и их тел существенно эродированы. По этим признакам можно предположить, что возраст сейсмодислокации — не менее 300–400 лет. На примере этой структуры мы можем видеть, как работали сейсмогеологи, какие особенности и признаки они фиксировали и какие результаты получали.

В книге приведены две карты — сеймотектоники и сейсмического районирования зоны БАМ. Их составили В.П. Солоненко, Р.А. Курушин, В.В. Николаев, М.Г. Демьянович, Р.М. Семенов, А.В. Чапизубов, В.С. Хромовских и В.А. Авдеев. Рассмотрев различные трудности методики составления таких карт, В.П. Солоненко подчеркнул, что для сейсмического районирования надежным остается фактический материал — сейсмостатистика, сейсмогеологические данные по полям напряжений, механизму очагов, направлению вспарывания разломов и сейсмогеология (новейшая тектоника, особенно плейстоцен-голоценовый ее этап — «живая тектоника»). Учитывались также конкретные геофизические данные о геоблоках, глубинных разломах и др. Расчетные сейсмогеологические параметры использовались как качественные показатели. При оконтуривании сейсмических районов зоны БАМ использовались средними размерами изосейсмальных площадей. Жаль, что размер журнальной статьи не позволяет привести эти замечательные детальнейшие карты.

В главе «Сейсмология ответственных сооружений» рассмотрены условия строительства наиболее ответственных сооружений на трассе БАМ, а также приводятся результаты сейсмогеологических исследований районов крупных месторождений, ГЭС и других объектов:

- Даванского (Байкальского) тоннеля;
- четырех тоннелей Прижимного участка общей длиной 5,1 км;
- Северомуйского тоннеля (15,3 км);



Рис. 15. Виктор Прокопьевич Солоненко. Последняя фотография (г. Иркутск, весна 1988 г., фото из книги [1])

- Кодарского тоннеля (1,8 км);
- Витимского мостового перехода (9-балльного района);
- Олекминского мостового перехода (9–10-балльной зоны);
- проектируемой Мокской ГЭС на р. Витиме (9-балльного района);
- Зейской ГЭС (с расчетной сейсмичностью 8 баллов);
- Олекминской ГЭС (8-9-балльной зоны);
- Нерюнгринской ГРЭС (с сейсмичностью 7 баллов);
- Удоканского горно-обогательного комбината (ГОК) меднорудного месторождения (с сейсмической опасностью 9 баллов и выше);
- Молодежного ГОК месторождения хризотил-асбеста (с нормативной балльностью более 9);
- Холоднинского сульфидного свинцово-цинкового месторождения (с сейсмической опасностью 8 баллов).

Приведем описание сейсмогеологических условий Северомуйского тоннеля — одного из сложнейших сооружений на трассе БАМ — по В.П. Солоненко. Уже в предварительном заключении об этих условиях в 1972 г. указывалось на высокую сейсмическую опасность района (9–10 баллов и более) и на то, что по ходу проектируемого тоннеля возможны следующие серьезные осложнения для его проходки: наличие пльвунов в гранитах; появление термальных напорных вод в связи с наличием «живых» разломов; перенапряженное состояние гранитов. К сожалению, рекомендации В.П. Солоненко не были услышаны и инженерно-геологическая разведка трассы тоннеля была осуществлена по стандартным нормам (в 1974–1975 гг.). По-видимому, считалось, что инженерно-геологические условия тоннеля весьма просты, т.к. он проходит в гранитах, к тому же с низкотемпературной (ниже минус 9,5°C) мощной (до 1000 м) вечной мерзлотой. В таких условиях не предполагалось встретить рыхлые тектониты, пльвуны, мощные потоки воды, а сейсмичность представлялась проектировщикам несущественной. Однако уже при бурении первых скважин такие представления о мнимом инженерно-геологическом благополучии трассы тоннеля рассеялись. Скважины подтвердили наличие Перевального разлома, практическое отсутствие в его зоне вечной мерзлоты, наличие в гранитах «кармана» песчано-гравийных водонасыщенных отложений (в 0,6–0,9 км от западного портала тоннеля), высокую обводненность гранитов с напорными (фонтанирующими) холодными и термальными водами, связь глубоких трещинных вод с грунтовыми и поверхностными водами, высокую степень насыщенности гранитов разломами и зонами дробления (часто с рыхлыми и иногда пльвунообразующими тектонитами) и т.д. Следовало бы изменить проект изыскательских работ. Но этого сделано не было. Только после начала строительства было начато финансирование сейсмогеологических и геофизических исследований, результаты которых подтвердили прогноз и дополнительно показали следующее.

1. Северомуйская межрифтовая перемычка является участком наивысшей сейсмической активности в Байкальской рифтовой системе, а на ней наиболее активной является зона Перевального разлома.

2. Эта перемычка является своеобразным «сейсмогеологическим водоразделом» (при землетрясениях восточнее нее вспарывание разломов направлено к

востоку, западнее — к западу). Таким образом, Северомуйская перемычка испытывает мощные растягивающие напряжения. Это, с одной стороны, несколько улучшает сейсмическую ситуацию тоннельного участка, так как преобладающая часть сейсмической энергии направляется в сторону вскрытия разрывов, т.е. в сторону от тоннеля. Но с другой стороны, растяжение массива обеспечивает гидравлическую связь разнонаправленных систем трещин, что обуславливает водопритоки, многократно превышающие первоначально рассчитанные, а при землетрясениях может обусловить «залповые» водопритоки по трещинам.

3. Выявленная сейсмоактивная Итыкитская зона разлома, пересекающая трассу тоннеля, существование которой ранее ставилось под сомнение, имеет ширину до 1,5 км и амплитуду вертикального смещения 700 м. Она обуславливает очень тяжелые горнотехнические (особенно гидрогеологические) условия.

4. Вся трасса тоннеля находится в зоне возможного возникновения динамических и остаточных сейсмических деформаций при землетрясениях силой 9 баллов и выше. При 9-балльных землетрясениях по разломам возможны остаточные вертикальные смещения до 1–1,2 м, при 10-балльных — до 5–7 м, при 11-балльных — до 12 м с раскрытием трещин до 20 м. При сильных сейсмических событиях на расстоянии до 90 км от тоннеля могут происходить «пассивные» колебания крыльев разломов без заметных остаточных деформаций, но разрушительные для сооружений, в том числе для облицовки и коммуникаций тоннеля.

5. Геофизические наблюдения показали интенсивные движения отдельных тектонических блоков земной коры с изменяющимся знаком, опасные для тоннеля.

В начале настоящей статьи было отмечено, что в мае 1987 г. по программе работы выездной сессии двух научных советов на трассе БАМ состоялась экскурсия в Северомуйский тоннель, в которой я принимала участие. Инициатором ее проведения был В.П. Солоненко, полагавший, что, поскольку в подобных условиях крупный тоннель строится впервые, но не в последний раз, необходимо подытожить его уроки. Экскурсии предшествовал доклад Виктора Прокопьевича «Сейсмология и сейсмичность Северомуйского тоннеля», сделанный накануне на заседании сессии в п. Северомуйске. Присутствовавшие на докладе участники сессии посетили тоннель и ознакомились на месте с условиями его строительства. Мы осматривали керновый материал и выслушивали пояснения В.П. Солоненко. Сейсмичность этого района давно уже оценивалась в 9 и более баллов. Внутри 9-балльной зоны в нем были выделены участки, где возможны землетрясения силой 10–11 баллов. Землетрясения интенсивностью 6 баллов здесь могут происходить раз в 2–3 года, 7 баллов — в 8–10 лет, 8 баллов — в 5 лет, 9 баллов — в 150–170 лет, 10 баллов — в 500–600 лет.

Северомуйский тоннель находился в стадии строительства, но работы были приостановлены в связи с очередной аварией. Дефекты изысканий и проектирования поставили строителей в чрезвычайно сложное положение, т.к. происходили прорывы вод и пльвунов в забои. По инициативе В.П. Солоненко было принято решение о проходке «пионерного тоннеля» (разведочно-дренажной штольни) для перехвата горячих термальных вод и пльвунов, что облегчило условия строи-



тельства. Зоны разломов являлись резервуарами накопления инфильтрационных вод и проводниками восходящих термальных (40–63°C) вод. При вскрытии зон разломов при проходке тоннеля происходили залповые прорывы вод и плывунообразных масс. Сначала прогнозировался суммарный водоприток до 1000 м<sup>3</sup>, но в дальнейшем он был оценен в 8700 м<sup>3</sup>. Срок завершения строительства тоннеля в 1984 г. оказался нереальным и был отодвинут. Виктор Прокопьевич обосновал необходимость строительства обходного пути, первый поезд по которому прошел в марте 1983 г. и по которому спустя 4 года проехали и мы — участники сессии. В.П. Солоненко подчеркивал: «Дефекты изыскания и проектирования БАМ (особенно Северомуйского тоннеля) должны быть, безусловно, учтены при проектировании новых трасс железных дорог в Сибири, на Дальнем Востоке и Северо-Востоке а также в других высокосейсмических областях СССР». Строительство Северомуйского тоннеля было завершено, и в 2002 г. по нему прошел первый поезд. К сожалению, Виктор Прокопьевич не дожид до этого события.

Завершая обзор работы коллектива авторов под руководством В.П. Солоненко по зоне БАМ, я приведу слова академика Н.А. Логачева: «Эта книга Солоненко и его соратников является наиболее полной и целостной и еще долго сохранит свое значение исходного документа при осуществлении любых крупных инженерно-строительных проектов в этом богатом минеральными и другими природными ресурсами регионе».

Весной 1988 г. за создание 8-томника «Геология и сейсмичность зоны БАМ» 25 участников этой сложной работы стали лауреатами премии Совета Министров СССР. Среди удостоенных этой чести — В.П. Солоненко и его ученики и сподвижники Р.А. Курушин, В.В. Николаев, Р.М. Семенов и В.С. Хромовских. К сожалению, тот год оказался последним в жизни Виктора Прокопьевича, но он смог вместе со всеми порадоваться успеху, который он заслужил в первую очередь, ибо его взнос в общую копилку бамовских исследований был максимальным.

Виктор Прокопьевич был замечательным человеком, и многие его ученики и соратники вспоминают о нем с восхищением, любовью и благодарностью. Приведу один факт, ставший мне известным во время работы над этой статьей от ученого секретаря проблемной комиссии Научного совета Евгении Васильевны Поповой, работавшей в тесном контакте с ИЗК в 70–80-е гг. прошлого века. В конце 1970-х гг. Виктор Прокопьевич не задумываясь безвозмездно передал крупную сумму личных сбережений для оплаты срочной хирургической операции на сердце Владимиру Сергеевичу Хромовских — его ученику и в последующем преемнику лаборатории. За доброе дело жизнь сторицей воздала Солоненко. В конце 80-х гг. под руководством В.С. Хромовских в Южном Прибайкалье был создан полигон и началось изучение сейсмических деформаций в разрезах горных выработок уже известных палеосейсмодислокаций, сопровождавшееся датированием разрывов слоев осадочных пород. Таким образом был ознаменован новый этап в развитии палеосейсмогеологического метода Солоненко. А еще позднее начались исследования по снижению сейсмического риска и ущерба от ожидаемых сильных землетрясений и был намечен путь разработки методов

«мягкой разгрузки» избыточных напряжений в областях подготовки очагов сильных землетрясений.

В.П. Солоненко ушел из жизни 1 июня 1988 г., год спустя после значимой и незабываемой выездной сессии на трассе БАМ. Виктор Прокопьевич оставил о себе память как ученый, который с большой ответственностью доводил до логического завершения решение геологических проблем. И всегда это были проблемы актуальные, высокой научной и народно-хозяйственной значимости. Во всей его деятельности проявлялись широкая научная эрудиция, принципиальность и огромное трудолюбие. Он был автором более 400 научных работ, в том числе 30 монографий, опубликованных в Советском Союзе и за рубежом. Виктор Прокопьевич был одним из самых последовательных противников создания на побережье Байкала крупных промышленных предприятий и отвода их промстоков в р. Иркут. О его работах в Монголии и в таежных малодоступных районах Восточной Сибири ходили легенды.

Закончить свою статью я хочу словами академика Н.А. Логачева: «Виктор Прокопьевич Солоненко — Великий Труженик науки, всегда устремленный в познание сущности геологических процессов и явлений. Он занимался не отвлеченными академическими проблемами, а задачами, выдвигаемыми самой жизнью и логикой развития научного знания».

*Автор выражает искреннюю благодарность сотруднику иркутского Института геохимии СО РАН Н.В. Владыкину, предоставившему изданную сибиряками книгу о Викторе Прокопьевиче Солоненко для ее использования при написании данной статьи, а также сердечно благодарит Н.И. Фролову и Е.В. Попову за сотрудничество в этой работе.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виктор Прокопьевич Солоненко / под ред. В.В. Ружича, Р.В. Семенова. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. 182 с.
2. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмология и сейсмическое районирование / под ред. В.П. Солоненко, М.М. Мандельбаума. Новосибирск: Сибирское отделение изд-ва «Наука», 1985. 190 с.
3. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Инженерная геология и инженерная сейсмология / под ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Сибирское отделение изд-ва «Наука», 1985. 191 с.
4. Солоненко В.П. Военная геология в условиях вечной мерзлоты: учебное пособие для военно-инженерных академий и военно-инженерных школ. М.: Изд-во Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева, 1944. 290 с.
5. Солоненко В.П. Геология месторождений графита Восточной Сибири и Дальнего Востока. М.: Госгеолиздат, 1951. 384 с.
6. Солоненко В.П. Инженерная геология Иркутской области / Геология СССР. Т. XVII. М.: Государственное научнотехническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1961. С. 442–496.
7. Солоненко В.П. Определение эпицентральных зон сильных землетрясений по геологическим признакам // Известия АН СССР. Сер. Геол. 1962. № 11. С. 63–65.
8. Солоненко В.П. Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири. Иркутск: Иркутское книж. изд-во, 1960. 88 с.
9. Солоненко В.П. Проблемы инженерной сейсмологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 124–130.



# УРОКИ НАВОДНЕНИЙ В КРЫМСКЕ И НА АМУРЕ: МНЕНИЕ ИНЖЕНЕР-ГЕОЛОГОВ

## LESSONS OF THE FLOODS IN KRYMSK AND IN THE AMUR REGION: ENGINEERING GEOLOGISTS' OPINION

### ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., профессор, [trofimov@rector.msu.ru](mailto:trofimov@rector.msu.ru)

### КОРОЛЕВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., [korolev@geol.msu.ru](mailto:korolev@geol.msu.ru)

#### Ключевые слова:

катастрофическое наводнение; природная катастрофа; инженерная защита; г. Крымск; р. Амур.

#### Аннотация

**В статье анализируются причины и трагические последствия наводнений в Крымском районе 2012 года и на р. Амур 2013 года с точки зрения инженер-геологов. Указывается на огромную роль организации действенных систем инженерной защиты территорий, зданий и сооружений, позволяющих исключить подобные ситуации и снизить ущерб от них. Излагаются рекомендации по защите от аналогичных катастрофических явлений.**

#### Abstract

**The causes and tragic consequences of the floods in Krymsk in July 2012 and in the Amur Region in 2013 are analyzed in the article from the point of view of engineering geologists. The authors point out the huge role of organization of effective systems for engineering protection of territories, buildings and structures permitting to avoid such situations and reduce the damage from them. Recommendations for protection against such catastrophic events are given.**

### TROFIMOV V.T.

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

### KOROLEV V.A.

Professor of the department of engineering and ecological geology of the geological faculty of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), [korolev@geol.msu.ru](mailto:korolev@geol.msu.ru)

#### Key words:

catastrophic flood; natural disaster; engineering protection; Krymsk; Amur River.

#### Введение

Наводнения являются одними из самых распространенных катастрофических явлений в мире, наносящих огромный материальный ущерб и приводящих к человеческим жертвам. На территории России в целом ряде регионов наводнения случаются регулярно. К таким регионам относятся, в частности, некоторые территории Северного Кавказа и Дальнего Востока (Амурская область, Хабаровский край, Приморье).

Причины наводнений различны. Однако с ними можно успешно бороться с помощью систем инженерной защиты, учитывающих эти различия и специфические инженерно-геологические условия территорий. Между тем в России вопросам инженерной защиты уделяется преступно недостаточное внимание. Катастрофических последствий недавних крупных наводнений в г. Крымске и на р. Амур можно было бы избежать, если бы в этих регионах имелись эффективные комплексные системы инженерной защиты. Анализу причин этих трагедий и урокам, которые необходимо извлечь из них, и посвящена настоящая статья.

#### Крымская трагедия

В ночь с 6 на 7 июля 2012 года на восточную часть Краснодарского края обрушилась водная стихия — выпало около 300 мм осадков, что по метеорологическим «нормам» соответствует катастрофическим ливням, характерным лишь для тропической зоны Земли. В считанные часы огромные массы воды, скопившиеся на гигантской водосборной площади, сливаясь в многочисленные потоки, пронесли через населенные пункты, расположенные на востоке Краснодарского края, смывая все на своем пути. Особенно значительное затопление образовалось в Крымском районе. Оно принесло многочисленные разрушения и гибель людей (рис. 1). Но катастрофические последствия испытали



на себе и жители территории Черноморского побережья — от Геленджика до Новороссийска.

Уже через три дня (10 июля) ущерб от этой катастрофы оценивался в 3 триллиона рублей. Официально был зафиксирован 171 погибший. Большая часть жертв относилась к Крымскому району.

Сразу же после этой трагедии во всех средствах массовой информации появилась масса разнородной и порой противоречивой информации о ее причинах. Среди них назывались и возможный сброс воды с расположенных выше водохранилищ, и прорыв защитных дамб на них, и открытие на них шлюзов. Однако ни одна из этих версий не подтвердилась в результате полицейской и прокурорской проверки. Все следственные действия подтвердили главную версию: наводнение носило стихийный характер и было вызвано чрезвычайно большим объемом осадков, выпавших за очень короткий период. 9 июля 2012 г. в России был объявлен национальный траур в память о жертвах этой трагедии.

В ликвидацию последствий включились значительные силы МЧС, бригады волонтеров со всей страны. После этого начались увольнения виновных, судебные процессы, организация компенсационных выплат населению и т.п. Первой жертвой стал уволенный глава Крымского района Краснодарского края. Затем стали искать виновных в недостатках оповещения местных жителей о приближавшей катастрофе, сведения о которой якобы поступили к руководству края 6 июля в 22.00 ч, т.е. за три часа до пика наводнения, разыгравшегося ночью 7 июля в 1.00–4.00. Вслед за этим последовали громкие заявления многочисленных политиков (а не специалистов!) различного уровня о необходимости отставки главы края, об усилении ответственности глав регионов за последствия стихийных бедствий, о реорганизации систем массового оповещения жителей в чрезвычайных ситуациях и т.п.

Однако, на наш взгляд, причинами случившейся трагедии являются совсем иные обстоятельства, рассматриваемые ниже.

## Наводнение на Амуре

В августе 2013 года началось одно из крупнейших за последние сто лет наводнений на р. Амур, охватившее значительные территории Амурской области, Еврейской автономной области и Хабаровского края на протяжении 1,5–1,8 тыс. км вдоль русла реки Амур. Его причины хорошо известны. Наводнения на Амуре не редкость и происходят почти ежегодно после выпадения обильных муссонных дождей, которые начинаются с июля — августа и заканчиваются осенью. Именно они и являются основным источником водного питания этой реки и главным фактором изменения уровня в ее русле. При этом весенний паводок на Амуре, как правило, бывает незначительным и уже к концу мая вода спадает и река входит в свое русло. В период же муссонных дождей она выходит из берегов, затопляя близлежащие территории, населенные пункты, разрушая строения и набережные. При этом ширина разливов Амура достигает до 10–25 км. После разлива вода не сходит до 2,0–2,5 месяца. Во время разливов происходят изменения

в русле реки, в количестве и очертаниях многих островов и устьев притоков.

В июле — августе 2013 года над территорией Амурской области, Хабаровского края и северо-восточного Китая сформировался мощный муссонный циклон, продвижению которого на северо-восток в этом году мешали аномальные погодные условия в более северных регионах России. Произошла сильнейшая блокировка циклона, не давшая ему продвигаться и разгрузиться, как обычно, в Охотском море. Наряду с аномальной циклонической активностью (которую многие гидрологи и климатологи связывают с общей разбалансировкой метеоусловий в Евразии и потеплением климата) причиной сильного наводнения 2013 года стала и очень снежная зима, вызвавшая затянувшееся таяние снега, в результате которого почва и подпочвенные грунты были переувлажнены вплоть до середины лета. Это повлияло на режим подземного стока.

В результате совпадения многих факторов в 2013 году вода в Амуре поднялась на 8–10 м (рис. 2). Уже 7 августа в Амурской области был введен режим чрезвычайной ситуации федерального уровня. В населенных пунктах от Благовещенска до Комсомольска-на-Амуре и Николаевска-на-Амуре были затоплены тысячи домов, прекратилась подача электроэнергии, пострадало около 135 тыс. человек, но обошлось без погибших. Произошло затопление сельхозугодий, на которых пропал весь урожай. Силами МЧС были эвакуированы тысячи жителей. Были срочно построены десятки километров временных защитных дамб (рис. 3), к возведению которых были привлечены многочисленные силы МЧС, военнослужащие и волонтеры.

Ущерб от наводнения оценивается в 30 миллиардов рублей и продолжает уточняться. С уходом воды легче не становится — появляются новые проблемы при полном разрушении коммунальной инфраструктуры, отсутствии питьевого водоснабжения. На ликвидацию последствий наводнения уйдет еще много времени и средств (рис. 4).

## Уроки наводнений

Какие же можно извлечь уроки из крымской трагедии и наводнения на Амуре? Что между ними общего?



Рис. 1. Наводнение в г. Крымске (*yuga.ru*)

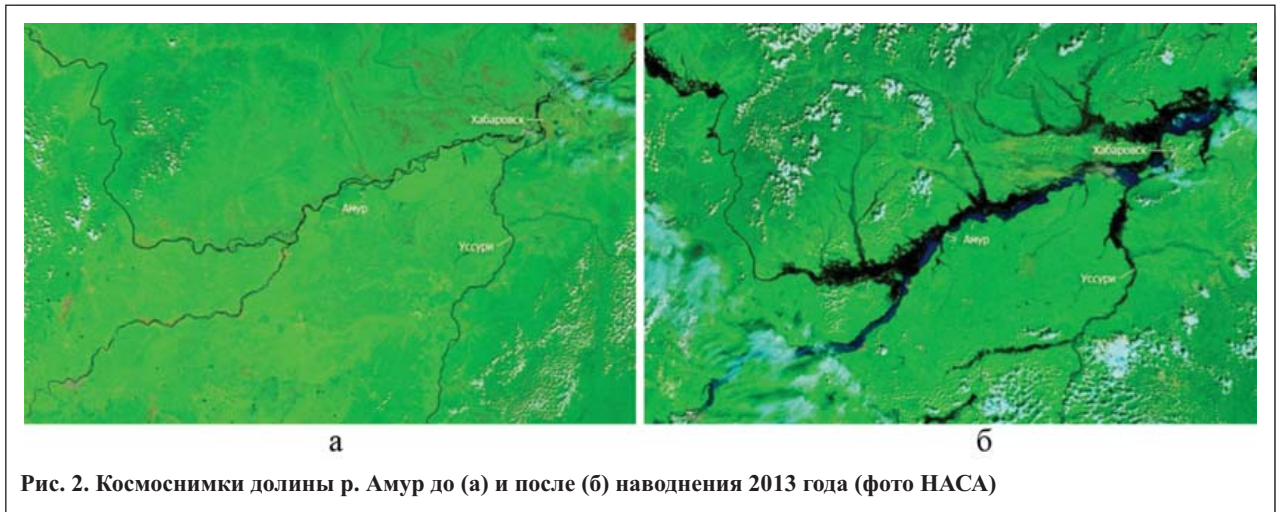


Рис. 2. Космоснимки долины р. Амур до (а) и после (б) наводнения 2013 года (фото НАСА)

**Первый вывод:** стихийные бедствия климатического характера подобного масштаба будут продолжаться в ближайшее время во многих регионах России. Это связано с целым рядом причин как естественного, так и техногенного характера.

К **естественным причинам** следует отнести продолжающиеся многолетние климатические изменения, носящие глобальный и, по-видимому, циклический характер. Следствиями глобального потепления стали интенсивное таяние льдов в Арктике, все чаще случающиеся аномально жаркие летние периоды и аномально снежные зимы. Они влекут за собой разбалансировку циклонической активности от Атлантики до Тихого океана, вызывающей аномально обильные осадки то в одном, то в другом регионе, появление ураганов и торнадо в местах, где они до этого не наблюдались или были чрезвычайно редки.

К сожалению, предсказать подобные погодные аномалии и катастрофические климатические явления, характеризующиеся большой неопределенностью и случайными процессами, ученые пока не могут. Однако из этого совсем не следует, что наука беспомощна в своих прогнозах. Усилиями климатологов, гидрологов, метеорологов и иных специалистов все лучше удается прогнозировать эти опасные процессы, в т.ч. на базе данных многолетнего мониторинга и с помощью моделирования на суперкомпьютерах.

Однако кроме естественных причин подобных метеорологических катастроф, на которые человек пока не может оказывать эффективное влияние, существуют и **техногенные причины**, вполне поддающиеся управлению. К ним относятся воздействия человека на окружающую среду как глобального характера, так и местного, регионального. К глобальным техногенным воздействиям, влияющим на формирование опасных климатических процессов, относятся: (1) загрязнение атмосферы за счет выбросов различных веществ промышленными объектами, автотранспортом, сельскохозяйственными источниками и др.; (2) неконтролируемая вырубка лесов и сокращение площадей тропических лесных ландшафтов (особенно в Южной Америке и Центральной Африке). К сожалению, многие из этих воздействий носят стихийный и пока неконтролируемый характер. Различные сочетания указанных факторов, их взаимное наложение, синергетические эффекты и вызывают аномальные погодные явления.

Кроме того, важнейшими техногенными причинами наводнений и в Крымске, и в долине Амура являются **нарушение поверхностного и подземного стока, отсутствие эффективного дренажа избыточного количества воды**. Неправильная, а часто самовольная застройка территорий по долинам рек и вдоль иных естественных дренажных систем создала препятствия для стока воды и способствовала подтоплению территорий, ведущему к переувлажнению грунтов и иным негативным последствиям.

Но наряду с этим нельзя забывать о том, что с наводнениями можно успешно бороться с помощью соответствующих систем инженерной защиты, которые отсутствовали или были неэффективны как в Крымске, так и в долине Амура. Лишь 22 сентября 2013 г. в средствах массовой информации появилось сообщение о том, что В.В. Путин подписал распоряжение о строительстве в долине Амура системы инженерной защиты, предложения по проектированию которой должны быть разработаны до 30 декабря 2013 года. Он поручил до 1 января 2015 года провести вместе с РАН научные исследования в бассейнах рек Амур, Зeya, Бурея и Усури. Верное, хотя и запоздалое решение.

Таким образом, из сказанного следует и **второй вывод:** отсутствие надежных комплексных систем инженерной защиты в обоих рассматриваемых слу-

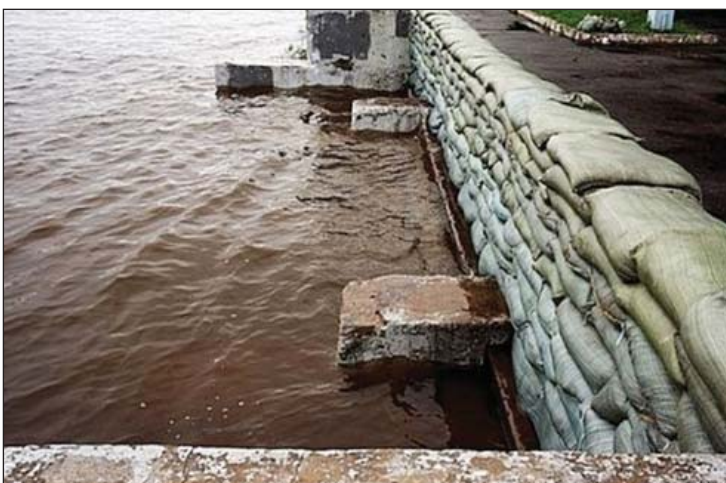


Рис. 3. Защитная дамба на Амуре в 2013 г. (justmedia.ru)



чаях обернулось огромными финансовыми потерями, которых можно было бы избежать, если бы пострадавшие территории были вовремя обеспечены такими системами.

Системы инженерной защиты от наводнений в долинах рек хорошо известны специалистам и успешно действуют в ряде регионов России и в других странах [2]. Их создание должно опираться на стремление к полному регулированию речного стока и на комплексный подход к строительству защитных сооружений — дамб, плотин, каналов и иных дренажных систем.

Но где же до случившегося были руководители местных региональных органов власти? О наводнениях они знали давно, но средств на создание эффективных систем инженерной защиты и в Крымске, и на Амуре не выделялось. Инженерно-геологические изыскания в долине Амура для создания инженерной защиты начались еще в 1950-е годы<sup>1</sup>. Однако до сих пор комплексная, а главное эффективная, система защиты здесь отсутствует. По словам главы МЧС В.А. Пучкова, г. Комсомольск-на-Амуре был защищен дамбой на случай подъема уровня воды лишь до 6 м. Сейчас стоит задача создать дамбы, защищающие город от подъема воды на 9 м.

Между тем выделяемые сейчас Правительством РФ финансовые средства на компенсацию потерь и восстановление жилых зданий существенно перекрывают возможные затраты на возведение защитных сооружений. Только на реконструкцию защитных дамб в Хабаровском крае потребуется около 15–20 млрд руб.

Более того, проявился удивительный непрофессионализм представителей местных администраций, а в ряде случаев и сотрудников МЧС при оценке катастроф, их последствий и организации защитных мероприятий. Примеров тому можно привести много. Наводнение и затопление территорий называлось ими «подтоплением», хотя любому специалисту ясно, что затопление и подтопление — это разные процессы. Такие «оговорки» допускали не только средства массовой информации, но и сотрудники МЧС. Временные защитные дамбы часто возводились из водонепроницаемых мешков, заполненных песком, а не глиной. Как известно, песок прекрасно пропускает воду, в результате чего многие дамбы оказались неэффективными и людские силы на их возведение были потрачены впустую.

В России говорят: «Пока гром не грянет, мужик не перекрестится». Так и с наводнениями: пока они не достигли катастрофического масштаба, надлежащих защитных мер не предпринималось. Например, лишь в конце июня 2013 года правительство Хабаровского края выделило почти 3,5 млн руб. и объявило конкурс на выполнение работ «Инженерная защита левого берега р. Амур в районе г. Хабаровска» на 2013 год. Но было уже поздно...

Отсюда следует **третий вывод**: *местные органы власти в работе по предотвращению указанных сти-*



Рис. 4. Затопленные территории в долине Амура (фото Риты Эшен, «Голос России»)

хийных бедствий должны опираться на специалистов по инженерной защите, инженерно-геологов, гидрологов, гидрогеологов и климатологов, а не уповать на «пожарную команду» из МЧС. Деятельность региональных подразделений МЧС ориентирована на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, но профилактические и защитные мероприятия, как и обслуживание систем инженерной защиты должны находиться в поле зрения местных органов власти.

Инженерной защите территорий и сооружений всегда отводилась огромная роль в работах по предупреждению чрезвычайных ситуаций и профилактике опасных геологических процессов [2, 5]. Тем не менее в последнее время в российских органах власти ее значение явно недооценивается. Особенно опасно то, что оно недооценивается органами местных администраций, в ведении которых находятся регулирование и контроль строительства на местах, а также организациями, эксплуатирующими различные сооружения и жилые здания.

Строительство и эксплуатация инженерных сооружений для защиты от наводнений детально регламентируются рядом нормативных и методических документов [1, 3, 4]. Однако, судя по всему, эти документы остаются неизвестными местным органам власти. Стремление сэкономить деньги на защите территорий при их застройке, пренебрежение нормами инженерной защиты приводят к катастрофическим последствиям и многочисленным человеческим жертвам.

Выделение площадей под застройку на неблагоприятных территориях без сопровождения их системой инженерной защиты от опасных процессов является прямым преступлением против населения.

На наш взгляд, преступное пренебрежение вопросами инженерной защиты территорий и сооружений является прямым следствием снижения со стороны Правительства РФ внимания к инженерной геологии в целом. В рамках инженерной геологии накоплен огромный практический опыт борьбы с опасными геологическими и иными процессами природного и техногенного характера. Однако этот опыт остается невостребованным властями, а о системах инженерной защиты вспоминают лишь после очередной трагедии.

В этой связи можно сделать **четвертый вывод**: *в России необходима федеральная программа по созда-*

<sup>1</sup> Эти исследования, в частности, проводились под руководством Е.М. Сергеева Амурской экспедицией от кафедры грунтоведения и инженерной геологии МГУ им. М.В. Ломоносова.

нию и эксплуатации систем инженерной защиты регионов. Разработка такой программы под силу ответственными инженерам-геологам. Она должна создаваться не силами «пожарной команды» МЧС, а ведущими научно-исследовательскими и научно-производственными инженерно-геологическими организациями страны, внимание к работе которых должно быть повышено со стороны Правительства РФ.

Еще один важный вопрос связан со строительством, главным образом гражданским, в районах потенциального затопления и подтопления, на территориях, заведомо непригодных для жилой застройки. В последние годы, к сожалению, во многих регионах России, особенно в сельской местности, застройка новых территорий часто проводится стихийно и неконтролируемо. «Дачная амнистия» позволяет узаконить строительство жилых домов на неблагоприятных территориях, в т.ч. находящихся в зоне потенциального затопления. В итоге через определенное (иногда длительное) время строения оказываются затопленными при возникновении стихийных паводков. При этом приходится тратить значительные средства на восстановление жилищ, переселение жителей и тому подобные мероприятия. Отказ от ранее существовавших региональных схем территориального планирования и застройки, которые создавались с учетом местных инженерно-геологических условий, всех возможных последствий стихийных бедствий и с организацией комплексных схем инженерной защиты территорий, приводит к вышеотмеченным печальным итогам.

Из этого следует **пятый вывод**: *необходим учет схем территориального планирования застройки, бо-*

*лее строгий контроль местными органами власти освоения новых и застройки старых территорий.*

### **Заключение**

Катастрофических последствий наводнений в Крымске и на Амуре можно было бы избежать, если бы Правительство РФ, местные органы власти уделяли больше внимания вопросам инженерной защиты территорий. Понесенный ущерб от этих катастроф — прямое следствие снижения внимания руководства страны и регионов к роли инженерной геологии в целом. Остается надеяться, что ими будут извлечены уроки из этих событий в соответствии с изложенными выше выводами.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ Р 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. М.: Госстандарт России, 1995.
2. *Королев В.А.* Инженерная защита территорий и сооружений: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2013. 470 с.
3. Правила технической эксплуатации сооружений инженерной защиты населенных пунктов. М.: Минстрой России, 1995.
4. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. М.: Госстрой СССР, 1985.
5. *Трофимов В.Т., Королев В.А.* Инженерная защита территорий и сооружений в системе инженерно-экологической защиты // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2012. № 1. С. 49–53.

**Журнал «Инженерная геология»**

стал одним из наиболее востребованных печатных изданий в нашем профессиональном сообществе. Сотрудники редакции постоянно работают над дальнейшим повышением качества журнала. Все статьи проходят рецензирование членами редакционной коллегии и внешними рецензентами, научное и литературное редактирование. Вы, читатели, можете внести свой вклад в развитие журнала, присылая в редакцию свои статьи, подписываясь на «Инженерную геологию».

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

Реклама

# ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАССЫ ГАЗОПРОВОДА БОВАНЕНКОВО — УХТА НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ И СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ

## ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS OF THE BOVANENKOVO — UKHTA MAIN GAS PIPELINE ROUTE IN THE TERRITORY OF THE YAMAL PENINSULA AND THE AREA ZONING SCHEME

### КРЮКОВ А.В.

Начальник Воркутинского линейного производственного управления магистральных газопроводов (ЛПУМГ) ООО «Газпром Трансгаз Ухта», г. Воркута, akriukov@sgp.gazprom.ru

### ГРИВА Г.И.

Главный научный сотрудник Тюменского научного центра СО РАН, д.г.-м.н., г. Тюмень, grivag@mail.ru

### БРУШКОВ А.В.

Заведующий кафедрой геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, brouchkov@hotmail.com

### KRYUKOV A.V.

Head of the Vorkuta Linear Production Agency of Main Gas Pipelines of the ООО «Gazprom Transgaz Ukhta» LLC, Vorkuta, akriukov@sgp.gazprom.ru

### GRIVA G.I.

Principal staff scientist of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), Tyumen, grivag@mail.ru

### BRUSHKOV A.V.

Head of the geocryology department of the geology faculty of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), Moscow, brouchkov@hotmail.com

### Ключевые слова:

полуостров Ямал; система магистральных газопроводов Бованенково — Ухта; инженерно-геокриологические условия; инженерно-геокриологическое районирование.

### Key words:

Yamal Peninsula; Bovanenkovo — Ukhta main gas pipelines system; permafrost conditions; engineering-geocryological zoning.

### Аннотация

В статье рассматриваются геокриологические условия трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта в пределах полуострова Ямал и результаты инженерно-геокриологического районирования изучаемой территории. Эти результаты могут быть использованы для обеспечения эксплуатационной надежности и безаварийной эксплуатации газопровода в уникальных по сложности геокриологических условиях.

### Введение

Ямал является одним из главных резервов нефтегазовой отрасли России в первой половине XXI столетия. На полуострове подготовлена сырьевая база для добычи газа в объеме до 300–330 млрд м<sup>3</sup>/год и жидких углеводородов до 10–15 млн т/год [23]. К настоящему времени сданы в эксплуатацию первоочередные газодобывающие объекты Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) и первая нитка системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта.

По схеме геокриологического районирования [7] Ямал относится к Лескинско-Антипаюгинской подзоне северной зоны континентального региона, граничащей на севере и западе с Карской шельфовой зоной субмаринного региона. Полуостров является областью ступенчатых морских аккумулятивных равнин и сложен отложениями преимущественно морского и прибрежно-морского генезиса. Отличительной чертой его территории является сплошное с поверхности распространение многолетнемерзлых пород с большой льдистостью и засоленностью.

Необходимость изучения геокриологических условий для освоения крупных месторождений углеводородного сырья явилась основанием для инженерно-геологического картирования территории полуострова Ямал [7, 15, 18]. Детальные геокриологические исследова-

### Abstract

The article considers the permafrost conditions of the Bovanenkovo — Ukhta main gas pipeline route in the territory of the Yamal Peninsula and results of engineering-geocryological zoning of this territory. These results can be used to ensure the operational reliability and trouble-free operation of the pipeline in the uniquely difficult permafrost conditions.



дования выполнялись при инженерно-геологических изысканиях под строительство объектов Бованенковского, Харасавейского, Новопортовского месторождений, коридоров коммуникаций между ними и в пределах трасс магистральных газопроводов.

В настоящей работе рассматриваются геокриологические условия трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта и результаты районирования изучаемой территории по этим условиям, которые могут быть использованы для решения важной народно-хозяйственной задачи — обеспечения эксплуатационной надежности и безаварийной эксплуатации объекта, построенного в уникальных по сложности геокриологических условиях.

### Природные условия и геологическое строение территории

Особенности природных условий Ямала определяются его географическим положением в пределах западной части Азии. Климат данного региона умеренно континентальный, переходный к континентальному, с длительной суровой зимой и коротким нежарким летом. Характерная особенность климата — большая ежегодная изменчивость, которая создается взаимодействием западного переноса, преобладающего в умеренных широтах Северного полушария, с континентальными воздушными массами Азии. Средняя годовая температура повсеместно имеет отрицательные значения — от минус 7 до минус 10 °С (табл. 1). Средняя продолжительность безморозного периода составляет 57 дней. Годовые суммы суммарной радиации при средних условиях облачности уменьшаются с юга на север, составляя 83–85 ккал/см<sup>2</sup> в южных частях региона и 67–70 ккал/см<sup>2</sup> в северных. В холодное время характерны юго-западные ветры со средней скоростью 6–8 м/с, сменяемые ветрами холодных вторжений от сибирского антициклона. Годовая сумма осадков в регионе составляет в среднем 380–410 мм.

Максимальной величины снеготпасы достигают в конце апреля (табл. 2).

Территория Ямала представляет собой типичную плоскую в разной степени расчлененную аккумулятивную равнину, абсолютные отметки которой изменяются от 0–2 м на побережье Карского моря и Обской губы до 100–120 м в приуральских районах. Наиболее древние уровни среднеплейстоценового возраста слагают в осевой части Ямала водораздельные равнины с абсолютными отметками от 45–60 до 80–95 м. По периферии полуострова развиты молодые верхнеплейстоценовые и голоценовые террасы с отметками уровней 22–35 и 7–12 м и лайды с отметками 2–5 м. Вся территория Ямала холмистая, в разной степени изрезанная речной и овражной сетью, заболоченная и заозеренная (более чем на 10%). Реки здесь мелководны, имеют меандрирующие русла и широкие дельтообразные устья с несколькими рукавами. На выходе в море они образуют отмели и системы островов. В низовьях большинства рек ощущаются периодические приливно-отливные явления и непериодические сгоны и нагоны. Большинство озер имеет термокарстовое происхождение, они мелководны (глубиной 2–4 м) и располагаются группами. Среди болот распространены преимущественно арктические минеральные и торфяно-минеральные эвтрофные (низинные) болота.

В геоботаническом отношении территория Западного Ямала охватывает подзоны арктических, типичных и кустарничковых тундр [6, 19].

*Подзона арктических тундр* включает в себя несколько типов тундр. Мохово-лишайниковые пятнистые тундры занимают вершины и наветренные склоны холмов.

*Подзона типичных тундр* включает в себя кустарничково-мохово-лишайниковые, кустарничково-моховые, ивняковые моховые и заболоченные ерничково-ивняковые тундры.

*Подзона кустарничковых тундр* характеризуется преобладанием карликовой березы и ив (*Salix glauca*,

Таблица 1

| Средняя месячная и годовая температура воздуха на метеостанциях полуострова Ямал |                         |       |       |       |       |      |     |      |      |     |      |       |       |      |
|--|-------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|-----|------|-------|-------|------|
| Метеостанция   | Период наблюдений (гг.) | Месяц |       |       |       |      |     |      |      |     |      |       |       | Год  |
|  |                         | I     | II    | III   | IV    | V    | VI  | VII  | VIII | IX  | X    | XI    | XII   |      |
| Сеяха  | 1936–2000               | -24,6 | -25,7 | -22,1 | -15,5 | -6,4 | 1,6 | 7,7  | 8,0  | 3,5 | -5,6 | -16,1 | -21,0 | -9,9 |
| Мыс Каменный   | 1950–1994               | -25,0 | -25,8 | -21,1 | -14,6 | -5,9 | 1,8 | 9,0  | 9,9  | 4,6 | -5,5 | -16,2 | -21,2 | -9,2 |
| Новый Порт   | 1936–2000               | -24,5 | -25,0 | -20,4 | -12,8 | -4,8 | 3,7 | 11,6 | 10,2 | 4,6 | -5,1 | -16,2 | -21,3 | -8,3 |
| Мыс Маре-Сале  | 1914–2000               | -20,7 | -21,7 | -19,5 | -12,9 | -5,2 | 1,9 | 7,4  | 6,9  | 3,4 | -3,9 | -12,5 | -18,1 | -7,9 |
| Яр-Сале  | 1936–1994               | -23,8 | -23,8 | -18,9 | -10,9 | -2,9 | 6,9 | 13,7 | 10,9 | 5,2 | -4,7 | -15,4 | -20,7 | -7,0 |

Таблица 2

| Высота снежного покрова на последний день месяца, см |    |    |     |    |    |     |    |    |       |       |      |
|--|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-------|-------|------|
| Метеостанция   | X  | XI | XII | I  | II | III | IV | V  | Сред. | Макс. | Мин. |
| Харасавей  | 9  | 15 | 19  | 22 | 25 | 28  | 30 | 24 | 35    | 48    | 22   |
| Маре-Сале  | 10 | 16 | 18  | 21 | 23 | 24  | 22 | 9  | 28    | 41    | 19   |

Salex lanata). Ерниково-лишайниково-моховые тундры занимают дренированные участки междуречий и террас. На пологих склонах и плоских вершинах холмов междуречий и террас развиты ивняково-моховые тундры. На вершинах холмов встречаются травяно-кустарничковые тундры. Заболоченные пушицево-лишайниково-сфагновые тундры распространены на плоских междуречьях и террасах. Они занимают переходные участки между незаболоченными кустарничковыми тундрами и болотами.

Тундровые почвы отличаются незначительной мощностью деятельного горизонта. Ландшафты имеют низкую теплообеспеченность, избыток влаги, низкую емкость биологического круговорота и слабую активность биологических процессов.

Мерзлые грунты представлены четвертичными отложениями различного генезиса, преимущественно морскими и прибрежно-морскими, значительно реже ледниково-морскими песками, алевритами, суглинками, супесями и глинами с включениями растительных остатков, обломков морской макрофауны, гравия, гальки, валунов. Большая часть разреза четвертичных отложений выделена в ямальскую серию и казанцевскую свиту [13, 14]. Более молодые морские отложения слагают серию верхнеплейстоценовых — голоценовых морских террас. Общая мощность четвертичных отложений не превышает 350–370 м.

*Нижнеплейстоценовые морские отложения ( $mQ_I$ )* залегают на палеогеновых глинах с резко выраженным эрозионным несогласием, вскрыты в интервале глубин 80–170 м, представлены толщей тяжелых и средних плотных суглинков с прослоями песков.

*Среднеплейстоценовые морские и ледниково-морские отложения ( $m, gmQ_{II}^{2-4}$ )* характерны для всей изучаемой территории и на суше залегают ниже уровня моря. Подошва среднеплейстоценовых отложений залегает на абсолютных отметках от минус 50 до минус 120 м, их максимальная мощность не превышает 100 м. Разделение ниже- и среднеплейстоценовых отложений затруднительно, поэтому чаще всего их рассматривают как единую ямальскую серию.

*Верхнеплейстоценовые морские и прибрежно-морские отложения казанцевской свиты ( $m, pmQ_{III}^1$ )* вскрываются на глубине 20–30 м от поверхности и представлены переслаивающимися глинами, суглинками, супеями и песками с преобладанием тонкодисперсных разностей. Мощность казанцевских отложений составляет 30–80 м.

*Верхнеплейстоценовые морские отложения III террасы ( $mQ_{III}^{2-3}$ )* залегают с поверхности в пределах наиболее возвышенных участков водоразделов с абсолютными отметками 25–30 м. Формирование нижних горизонтов относится к каргинскому времени, окончание седиментации приурочено к началу сартанского похолодания. В разрезе прослеживаются две пачки отложений — преимущественно песчаная нижняя и глинистая верхняя. Первая представлена мелкими и пылеватými песками с линзами и прослоями растительных остатков. Общая мощность отложений, слагающих III морскую террасу, не превышает 20–40 м.

*Верхнеплейстоценовые морские отложения II террасы ( $mQ_{III}^{3-4}$ )* сартанского возраста слагают водораздельные поверхности с абсолютными отметками 15–

20 м. Они имеют наибольшее распространение на трассе газопровода и характеризуются разнообразным составом — переслаивающимися песками, суглинками и глинами с преобладанием тонкодисперсных разностей. Вместе с тем вверх по разрезу нередко возрастает роль песков. Мощность отложений второй террасы — до 12–15 м.

*Голоцен-верхнеплейстоценовые морские отложения I террасы ( $mQ_{III-IV}$ )* слагают поверхности высотой 7–12 м и имеют песчано-глинистый состав, нередко с преобладанием песков в верхней части разреза (до глубины 5–7 м). Их мощность не превышает 10–15 м.

*Голоценовые отложения ( $m, am, a, sd, IbQ_{IV}$ )* представлены морскими и континентальными образованиями. Морские отложения ( $mQ_{IV}$ ) в прибрежной части акватории Карского моря — мелкие и пылеватые пески, супеси, глинистые и суглинистые илы. Разнообразные по генезису континентальные отложения голоцена распространены на Ямале повсеместно. Аллювий пойм рек ( $aQ_{IV}$ ) представлен пылеватыми и мелкими песками, супеями, а в самой верхней части разреза (до глубины 2–4 м) — оторфованными суглинками. Солифлюкционно-делювиальные отложения ( $sdQ_{IV}$ ) практически сплошным чехлом покрывают длинные пологие склоны морских террас. По составу это суглинки и супеси, участками ожелезненные, часто с большим количеством детрита. Их мощность варьирует от 0,5–1,0 м на верхних частях склонов, сложенных песками, до 4–8 м у подножия склонов, сложенных мелкодисперсными грунтами. Озерные отложения ( $IQ_{IV}$ ) распространены локально и слагают днища обширных древних и современных озер, дренированных озерных котловин (хасыреев) и аккумулятивные части озерных террас. Они представлены тяжелыми заиленными суглинками с тонкой ленточной слоистостью, с редкими прослойками супесей и пятнами ожелезнения. Их мощность редко превышает 3–5 м. Биогенные отложения ( $bQ_{IV}$ ) представлены торфом различной степени разложения и имеют локальное распространение на всех геоморфологических уровнях.

Выделение ландшафтов выполнено на основе состава отложений, форм рельефа, почвенно-растительных комплексов и характера увлажнения. В пределах полуострова выделяются следующие виды ландшафтов [3]: ландшафты морских равнин и террас (III, II, I), низких речных террас, поймы, лайды, долин малых водотоков и озерных котловин (хасыреев).

На ландшафтах морских равнин и террас, сложенных песчано-суглинистыми отложениями, преобладают плоские поверхности различной степени дренированности, занятые кустарничковыми и кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами. Значительные площади занимают травяно-моховые болота с фрагментами торфяников. Распространенными криогенными формами являются термокарстовые образования (озера, хасыреи, западины) и полигональный рельеф. Склоны террас, где проявляются термоденудационные процессы (рис. 1), расчленены оврагами и полосами стока, осложнены солифлюкционными террасами, криогенными оползнями скольжения и течения. На пологих склонах широко распространен мелкобугристый или пятнистый микрорельеф, развиты

**Схема инженерно-геокриологического районирования территории размещения системы магистрального газопровода Бованенково — Ухта в пределах полуострова Ямал**

| Инженерно-геокриологические районы   | Инженерно-геокриологические подрайоны   | Инженерно-геокриологические участки   | Краткая характеристика участков (природные микрорайоны)  |
|--|---|---|--|
| I. Верхнечетвертичные прибрежно-морские и морские террасы (осадки до глубины 2–4 м промерзали сингенетически, ниже — эпигенетически) | I-A. Плоские незэродированные или слабо-эродированные поверхности террас (уклон поверхности — менее 1°) | I-A-1. Участки в верхней части разреза сложены преимущественно пылеватými песками, в нижней части — суглинками и глинами. Отложения до глубины 3–4 м льдистые, с ГПЛ*                             | Мелкоочковатый микрорельеф, поверхность относительно дренированная, $t_{cp.} = -5 \div -8,5$ °C, $\xi = 0,8 \div 1,5$ м****  |
|  |   | I-A-2. Участки в верхней части разреза сложены торфом мощностью 0,1–1,5 м, ниже — песками, супесями, суглинками, глинами. Минеральные отложения до глубины 3–4 м льдистые. Характерны ГПЛ и ПЖЛ** | Трещинно-полигональный и остаточнопolygonальный рельеф, поверхность слабодренированная, $t_{cp.} = -5,5 \div -7,5$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,6$ м, мощность ПЖЛ — до 3 м |
|  |   | I-A-3. Участки сложены суглинками, глинами с линзами и прослоями супесей и пылеватых песков. Отложения льдистые до глубины 3–4 м, ниже слабольдистые, с ГПЛ                                       | Мелкоочковатый микрорельеф, поверхность неравномерно дренированная, реже относительно дренированная, $t_{cp.} = -4,5 \div -7$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,8$ м             |
|  |   | I-A-4. Участки сложены песками, суглинками и глинами. Отложения сильнольдистые, характерны БПЛ***   | Мелкоочковатый микрорельеф, поверхность относительно дренированная, $t_{cp.} = -3 \div -6$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,8$ м  |
|  | I-B. Подрайон пологих склонов прибрежно-морских и морских террас (уклон поверхности — от 1,5 до 3°)     | I-B. Участки сложены глинами, суглинками с прослоями и линзами песков. Грунты сильнольдистые, с БПЛ и ГПЛ   | Бугристый и мелкоочковатый микрорельеф, поверхность относительно дренирована, реже хорошо дренирована. $t_{cp.} = -4 \div -7$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,7$ м             |
|  | I-B. Подрайон крутых склонов прибрежно-морских и морских террас. Уклон поверхности более 30.            | I-B. Участки сложены суглинками и глинами с прослоями и линзами песков. Отложения льдистые, характерны БПЛ и ГПЛ  | Бугристый микрорельеф, поверхность дренированная; $t_{cp.} = -2 \div -6$ °C, $\xi = 0,5 \div 1,0$ м  |
| II. Поймы рек и ручьев, сложенные современными аллювиальными отложениями, промерзшими сингенетически                                 | II-A. Подрайон плоских поверхностей современной поймы   | II-A-1. Участки сложены пылеватými песками и супесями, ниже — суглинками. До глубины 3–4 м грунты сильнольдистые, глубже слабольдистые  | Поверхность хорошо дренированная на косах и пляжах, реже неравномерно дренированная, $t_{cp.} = -1,5 \div -4$ °C, $\xi = 0,6 \div 1,2$ м                             |
|  |   | II-A-2. Участки сложены слабозаторфованными в верхней части супесями и суглинками, реже песками. Грунты сильнольдистые до глубины 3–4 м, ниже слабольдистые                                       | Бугристый и мелкоочковатый микрорельеф, поверхность слабодренированная, реже заболоченная, $t_{cp.} = -3 \div -6$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,8$ м                         |
|  |   | II-A-3. Участки сложены суглинками и супесями с прослойками песков, перекрыты торфом мощностью до 1–2 м. Грунты в верхней части сильнольдистые, ниже 3 м льдистые и слабольдистые                 | Трещинно-полигональный и остаточнопolygonальный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -2,5 \div -5$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,6$ м                           |
| III. Озерные котловины, сложенные верхнеплейстоценовыми озерными отложениями промерзшими эпи- и диагенетически                       | III-A. Подрайон хасыреев в пределах морских террас  | III-A-1. Участки сложены слабозаторфованными суглинками, супесями, глинами мощностью от 2 до 10 м, перекрыты маломощным торфом. Отложения сильнольдистые и льдистые, в бортах хасыреев — ГПЛ      | Остаточнопolygonальный и трещиннопolygonальный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -2,0 \div -5,5$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,8$ м                          |
|  | III-B. Подрайон хасыреев в пределах поймы   | III-B-1. Участки сложены слабозаторфованными суглинками, супесями, пылеватými песками мощностью от 2 до 10 м. Отложения сильнольдистые и льдистые   | Кочковатый и трещинно-полигональный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -2 \div -4$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,6$ м   |
|  |   | III-B-2. Участки сложены суглинками, супесями, глинами, песками мощностью от 2 до 10 м, перекрыты торфом мощностью до 2,0 м. Грунты сильнольдистые и льдистые, с ПЖЛ                              | Трещинно-полигональный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -1,5 \div 3,5$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,8$ м   |

\* ГПЛ — глубоко залегающие пластовые льды.

\*\* ПЖЛ — повторно-жильные льды.

\*\*\* БПЛ — близко залегающие пластовые льды (БПЛ).

\*\*\*\*  $t_{cp.}$  — среднегодовая температура грунтов;  $\xi$  — глубина сезонного оттаивания.



Рис. 1. Кустарничково-мохово-лишайниковая тундра на аллювиально-морской террасе. На заднем плане — процессы термоденудации склона морской террасы

кустарничково-мохово-лишайниковые тундры. В их нижних частях произрастают мохово-травяные ивняки высотой до 1,0–1,5 м.

*Ландшафты низких речных террас* распространены локально. Дренажированные участки, сложенные песчано-супесчаными грунтами, характеризуются мелкобугристым или пятнистым микрорельефом. На них развиты кустарничково-мохово-лишайниковые тундры (см. рис. 1). Значительную площадь на надпойменных террасах занимают полигональные торфяники. На склонах фрагментарно развиты солифлюкционно-оползневые образования.

*Пойменные ландшафты* также имеют подчиненное распространение. Пониженные участки пойм крупных рек сильно заболочены. Широкое распространение здесь имеют полигональные формы рельефа, преимущественно полигонально-валиковой. Большую часть площади пойм занимают осоково-моховые болота, на валиках преобладают травяно-моховые растительные ассоциации. Характерна высокая заозеренность (рис. 2). Распространенными криогенными образованиями являются полигональные формы рельефа и повторно-жильные льды.

*Лайдовые ландшафты* характеризуются значительной заболоченностью и заозеренностью (более чем на 30–35%). Залегающие с поверхности иловатые пески и супеси содержат линзы криопэгов. Низкие лайды незадернованы, имеют следы волноприбойной деятельности



Рис. 2. Пойменные ландшафты Западного Ямала

ности, изрезаны ручьями и протоками. Высокие лайды являются более дренированными, заросшими кустарничково-моховой и осоково-моховой растительностью. Наиболее характерными для ландшафтов криогенными процессами, играющими ландшафтообразующую роль, являются термокарст, пучение грунтов, термоэрозия и криогенное растрескивание.

*Ландшафты озерных котловин* на морских и надпойменных террасах и на пойме отличаются развитием с поверхности суглинков и супесей, перекрытых слоем торфа мощностью до 1,5 м. Наиболее широко распространены неравномерно дренированные, местами заболоченные поверхности, на которых доминируют травяно-моховые, реже кочковатые кустарничково-моховые болота. На приподнятых дренированных участках развита кустарничково-мохово-лишайниковая тундра. Характерными элементами данных ландшафтов являются бугры пучения, термокарстовые и полигональные образования.

*Долины малых водотоков* на морских и надпойменных террасах имеют, как правило, плоские часто заболоченные днища и склоны различной крутизны, зависящей от глубины вреза. На склонах активно развиваются термоденудационные процессы. Они осложнены солифлюкционно-оползневые образованиями.

### Инженерно-геокриологические условия

Главной особенностью территории трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта является практически сплошное распространение многолетнемерзлых пород (ММП). В мерзлом состоянии находятся даже отложения морских пляжей и кос, бечевников рек, мелководий озер и островов рек [18]. Сплошность ММП с поверхности нарушается несвязными подрусловыми и подозерными таликами, а по разрезу — линзами криопэгов и охлажденными грунтами. Наибольшее распространение имеют водно-тепловые талики, значительно реже встречаются радиационно-тепловые. Первые формируются и существуют под руслами рек с постоянным и сезонным стоком и под озерами, вторые приурочены к локальным участкам речных пойм, днищам логов и ложбин стока.

Среднегодовые температуры ММП изменяются от 0 — минус 1 °С до минус 6 — минус 8 °С. Распределение температур носит сложный характер, что объясняется неоднородностью ландшафтных условий. Наиболее низкими температурами (–6÷–8 °С) отличаются мерзлые породы на возвышенных и лишенных растительности водораздельных участках морских равнин, а наиболее высокими — пойменные участки, где среднегодовая температура может подниматься до минус 3 — минус 4 °С и выше. Для грунтов, слагающих обширные поймы крупных рек и их притоков, характерен широкий диапазон температур, но их фоновое значение на 1,0–1,5 °С выше, чем на террасовых поверхностях. Минимальная температура грунтов (–5÷–6, редко –7 °С) свойственна участкам травяно-сфагновых полигонально-валиковых болот, гривистых пойм, полигональных торфяников. Более высокая температура (–2,5÷–4,5 °С) — на более дренированных пойменных участках, часто занятых ивняками. На



склонах речных и морских террас диапазон среднегодовых температур грунтов составляет минус 1 — минус 8 °С. В нижних частях пологих подветренных склонов, а также в днищах логов, ложбин стока, оврагов, поросших густым ивняком, температура пород повышается до 0 — минус 4 °С.

Наибольшее влияние на глубину оттаивания имеют степень дренированности поверхности и рельеф, определяющие характер увлажнения грунтов, распределение напочвенных покровов и величину инсоляции поверхности.

Наиболее типичная мощность сезонноталого слоя — от 0,3–0,8 м на торфяниках и слабодренированных оторфованных поверхностях водоразделов и пойм с осоково-моховой растительностью до 0,8–1,5 м на дренированных участках водоразделов и пологих склонах террас с кустарничково-мохово-лишайниковой растительностью.

Эпигенетическими мерзлыми породами сложены многие геоморфологические уровни средне- и верхнеплейстоценового возраста, но в центральной части полуострова они наблюдаются лишь в пределах салехардской и казанцевской морских равнин и местами слагают нижнюю часть разрезов морских и лагунно-морских террас [18]. На территории Бованенковского месторождения эпигенетические мерзлые толщи с поверхности развиты локально на останцах III морской террасы. На остальной части территории они подстилают сингенетические мерзлые отложения. Криогенное строение и льдонасыщенность эпигенетических мерзлых толщ характеризуются большим разнообразием и изменчивостью. Наиболее льдистыми являются грунты в приповерхностном слое годовых колебаний температур.

Главные отличительные признаки разрезов эпигенетических толщ Бованенковского НГКМ — большая льдонасыщенность глинистых пород ( $I_i=0,3\div 0,8$ ) и ее увеличение при приближении к пласту льда. Мощность льдистого горизонта глинистых грунтов в кровле ледяных пластов в районе Бованенковского НГКМ изменяется от 1 до 14 м, наиболее часто (в 25% случаев определений) ее значение составляет 2–4 м. Изменчивость влажности песчаных пород, подстилающих пластовые льды, значительна: величина среднеарифметической влажности  $W$  по 93 пробам изменяется в диапазоне 23–70%, причем выделяются два пика наибольшей повторяемости ее значений. Первый пик ( $W=23\div 30\%$ ) охватывает около 35% всех определений и соответствует мелким пескам базально-массивной криогенной текстуры, а второй ( $W=40\div 60\%$ ) охватывает основную часть определений (около 60%) и соответствует пылеватым пескам со шлировыми текстурами.

Сингенетические мерзлые породы распространены преимущественно к северу от долины реки Юрибей. Для современных сингенетических ММП наиболее характерно широкое распространение сегрегационного и полигонально-жильного льдов. Объемная льдистость таких пород изменяется от 30 до 50%, а степень заполнения пор льдом и незамерзшей водой — от 0,7 до 1,0. При оттаивании такие грунты разжижаются. Верхнеплейстоцен-голоценовые аллювиальные отложения, слагающие надпойменные террасы в

долинах рек, характеризуются однородностью состава и криогенного строения. Весь разрез отложений надпойменных террас представляет чередование более и менее льдонасыщенных горизонтов, мощность которых достигает 1,5 м. Объемная льдистость чистых песков составляет 40–55%, в пылеватых песках и супесях она возрастает до 45–55%, а местами и более. Шире всего распространены сингенетические мерзлые аллювиальные отложения, слагающие поймы рек. Наиболее льдонасыщенными являются суглинки и глины, слагающие внутреннюю плохо дренируемую пойму. Особенно большой льдистостью до глубины 2–4 м характеризуются разрезы, сложенные оторфованными озерными суглинками. Льдистость таких грунтов превышает 0,4, их криотекстура является атакситовой слоистой сетчатой. Делювиально-солифлюкционные отложения верхнеплейстоцен-голоценового возраста характеризуются высокой льдистостью по всему разрезу. В широком диапазоне изменяется льдистость отложений за счет ледяных включений ( $I_i=0,3\div 0,6$ ).

Крупные скопления подземного льда в верхней части разреза мерзлых пород полуострова оказывают определяющее влияние на инженерно-геологические условия территории месторождений углеводородного сырья и газотранспортных систем. Льды развиты в отложениях всех стратиграфо-генетических горизонтов плейстоцен-голоценового возраста. По данным бурения, электроразведки и наблюдений в обнажениях ледяные тела прослеживаются как в разрезах морских и надпойменных речных террас, так и под аллювием современных пойм рек. Основная часть выявленных пластовых залежей льда сосредоточена в верхнем 50-метровом горизонте мерзлой толщи. Кровля ледяных тел располагается на разных глубинах — от первых метров до 20–40 м. В местах неглубокого залегания пластовые льды уязвимы для термоденудации и представляют угрозу трубопроводу и сооружениям инфраструктуры. Площадь отдельных залежей льда может достигать 5–7 км<sup>2</sup>, их мощность доходит до 30–45 м, а объем может превышать 200–250 млн м<sup>3</sup>. Характер залегания пластовых льдов в отложениях III морской террасы (по данным бурения) представлен на рис. 3.

Инженерно-геологическое значение пластовых льдов определяется их значительными размерами и приповерхностным залеганием, что определяет их особую чувствительность к техногенным воздействиям и колебаниям климата. По данным ОАО «ПНИИИС», статистика распределения мощности пластовых льдов на территории Бованенковского месторождения выглядит следующим образом: в 15% случаев она превышает 15 м; в 38% — варьирует от 15 до 5 м; в 47% — составляет менее 5 м. Таким образом, в 53% случаев зафиксированная толщина льда превышает 5 м. В пределах газотранспортной системы средняя глубина залегания их кровли колеблется от 1,48 м на хасырях до 5,25 м на речных террасах, т.е. они уязвимы для термоденудации и могут представлять серьезную угрозу инженерным сооружениям.

Повторно-жильные льды также занимают большие площади на всех геоморфологических уровнях. Жилы льда залегают, как правило, непосредственно под

слоем сезонного протаивания. В современных пойменных, лайдовых и болотных осадках мощность повторно-жильных льдов составляет 2–4 м, реже до 8–10 м, их ширина поверху — 1–2 м. Неразвивающиеся сингенетические повторно-жильные льды приурочены в основном к морским верхнеплейстоценовым отложениям. Глубина залегания этих жил колеблется в пределах 2–5 м, местами толща перекрывающих их отложений достигает 8–10 м. Наиболее крупные сингенетические жилы льда развиты в торфяно-минеральных массивах. Высота этих жил достигает 8–15 м, ширина поверху — 2–4 м (редко более), объемная макрольдистость — 20–35%. В супесях и песках высота жил составляет 2–7 м (реже до 10 м), ширина поверху — 0,5–2,5 м, объемная макрольдистость — 3–10%. Широкое распространение повторно-жильных льдов определяет сложность инженерно-геологических условий трассы трубопровода.

Засоление грунтов криогенной толщи относится к морскому типу и связано с развитием плейстоценовых и голоценовых морских трансгрессий, которые сопровождалось накоплением осадков с солеными иловыми водами и инфильтрацией морских вод в слабо литифицированные дисперсные породы.

Засоленность грунтов существенно влияет на температуру их замерзания, фазовый состав влаги, деформационные и прочностные свойства. Кроме того, засоленные грунты оказывают активное коррозионное воздействие на металлические и железобетонные конструкции. В пределах трассы трубопровода морские породы засолены по всему разрезу. Их засоленность составляет 0,5–1,5%, реже до 2,5%. Особо следует сказать о засоленности мерзлых пород в районе Байдарацкой губы. Наибольшим засолением характеризуются грунты низкой лайды и устьевых частей рек, заливаемых в нагоны и приливы морской водой. Здесь практически от поверхности под сезонноталым слоем или захватывая его залегают сильнозасоленные мерзлые и охлажденные грунты с содержанием солей до 4%. Средние значения засоленности глинистых грунтов составляют 2,1%, мерзлых песков — 0,3%, охлажденных — 1,0–1,6%.

Криопэги в толще засоленных мерзлых пород содержатся в виде изолированных линз различной мощности. Большинство криопэгов сосредоточено в разрезах пойм рек, реже они встречаются в отложениях морских террас. Химический состав солей в рассолах — хлоридно-натриевый.

## Районирование территории по инженерно-геокриологическим условиям

Характерной чертой территории размещения объектов транспорта газа на Ямале является крайняя пространственная неоднородность геоэкологических и инженерно-геокриологических условий, связанная с такими факторами, как: значительная протяженность трасс магистральных газопроводов в субмеридиональном направлении; пересечение тектонических структур разных (I–IV) порядков с различными геодинамическими условиями и направленностью неотектонических движений; пересечение разных геоморфо-логических уровней с различными стратиграфо-генетическими комплексами отложений.

Схема инженерно-геокриологического районирования, представленная в виде табл. 3, составлена на основе схемы районирования, выполненного ОАО «ПНИИИС» [3]. Она представляет собой комплексный анализ ландшафтно-индикационных, геолого-геоморфологических и криолитологических компонентов природной среды. Геокриологическая информация соотнесена с определенными ландшафтными комплексами, выделенными с учетом геоморфологического уровня, уклона поверхности, микрорельефа, растительности, дренированности территории.

## Заключение

Рассмотренная в настоящей работе проблема инженерно-геокриологического районирования является необходимой частью решения важной народно-хозяйственной и актуальной научной задачи — научно-методического обеспечения безаварийной эксплуатации газотранспортных систем в уникальных по сложности геокриологических условиях полуострова Ямал. Решение этой задачи возможно на основе комплексного анализа состояния многолетнемерзлых пород данной территории, оценки их изменений и прогноза геокриологических условий при промышленном освоении и разработке мероприятий по контролю состояния мерзлых оснований в процессе строительства и эксплуатации объектов магистрального транспорта газа.

Территория трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта уникальна по сложности геокриологической обстановки, аналогам которой на разведанных площадях других нефтегазоносных

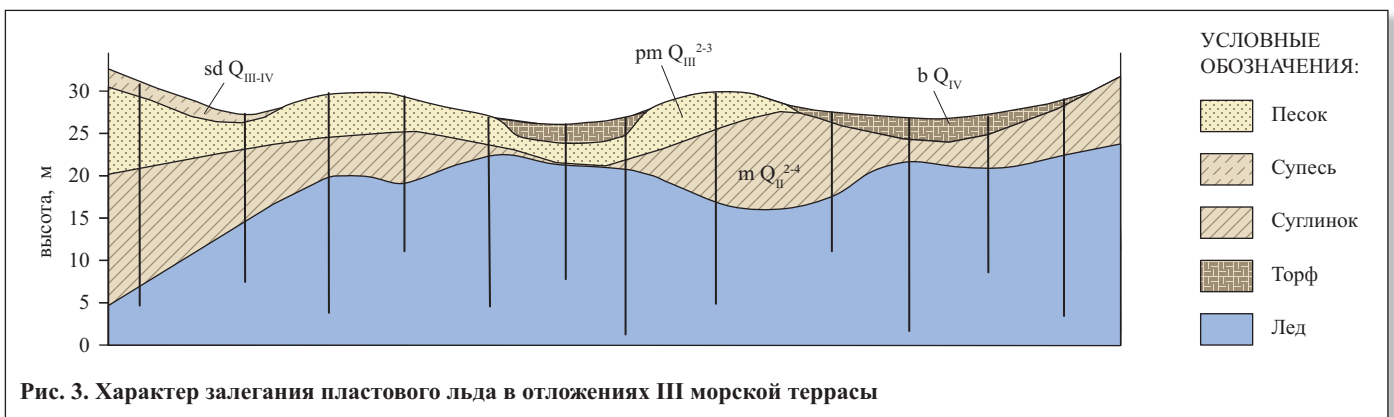



Рис. 3. Характер залегания пластового льда в отложениях III морской террасы



областей севера Западной Сибири не существует. Современные условия, свойства и состояние ММП данной территории определяются мерзлотно-фациальными условиями осадконакопления и историей ее развития в плейстоцен-голоценовое время. Отличительными особенностями инженерно-геокриологических условий, определяющими несущую способность оснований, являются: сплошное распространение ММП с сильнольдистыми грунтами в верхней части разреза; неоднородность и динамичность теплового состояния верхних горизонтов ММП; широкое развитие полигенетических подземных льдов; засоленность мерзлых пород и наличие криопэгов с высокой коррозионной агрессивностью; низкие деформационно-прочност-

ные свойства и пространственная неоднородность физико-механических свойств грунтов оснований, связанная с разнообразием состава, льдистости, засоленности и температурного режима пород.

Выполненное районирование инженерно-геокриологических условий рассматриваемой территории было использовано для оптимизации трассы первой нитки газопровода Бованенково — Ухта в процессе проектирования данного объекта, организации системы геотехнического мониторинга при его строительстве и будет использовано в дальнейшем для обоснования мероприятий, обеспечивающих безаварийную работу газотранспортной системы в процессе ее эксплуатации. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипов С.А., Волкова В.С.* Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1994. 105 с.
2. *Баулин В.В., Аксенов В.И., Дубиков Г.И. и др.* Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. 2: Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 1996. 240 с.
3. *Баулин В.В., Дубиков Г.И., Аксенов В.И. и др.* Геокриологические условия Харасавэйского и Крузенштерновского газоконденсатных месторождений (полуостров Ямал). М.: ГЕОС, 2003. 180 с.
4. *Брушков А.В.* Засоленные мерзлые породы Арктического побережья, их происхождение и свойства. М.: Изд-во МГУ, 1998. 332 с.
5. *Воскресенский К.С.* Современные темпы денудации равнин криолитозоны // *Геоэкология Севера*. М.: Изд-во МГУ, 1992. С. 83–94.
6. *Гвоздецкий Н.А., Кривошукский А.Е., Макунина А.А. и др.* Физико-географическое районирование Тюменской области. М.: Изд-во МГУ, 1973. 246 с.
7. *Геокриология СССР*. Т. 2: Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 454 с.
8. *Грива Г.И.* Геоэкологические условия разработки газовых месторождений Ямала. Томск: Изд-во ТГУ, 2005. 330 с.
9. *Григорьев Н.Ф.* Криолитозона прибрежной части Западного Ямала. Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1987. 112 с.
10. *Данилов И.Д.* Плейстоцен морских субарктических равнин. М.: Изд-во МГУ, 1978. 198 с.
11. *Дубиков Г.И., Баду Ю.Б., Иванова Н.В.* Состав и строение криогенной толщи на Западном Ямале // *Лабораторные и полевые исследования мерзлых грунтов и льдов: сборник научных трудов ПНИИИС / под ред. В.В. Баулина и др.* М.: Стройиздат, 1986. 119 с.
12. *Ершов Э.Д.* Общая геокриология. М.: Недра, 1990. 559 с.
13. *Лазуков Г.И.* Антропоген северной половины Западной Сибири (стратиграфия). М.: Изд-во МГУ, 1970. 321 с.
14. *Лазуков Г.И.* Этапы плейстоценового осадконакопления в пределах Западно-Сибирской равнины // *Природные условия Западной Сибири*. М.: Недра, 1971.
15. *Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др.* Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. М.: Наука, 1983. 165 с.
16. *Павлов А.В., Ананьева Г.В.* Современные изменения климата и криолитозоны в нефтегазоносных районах севера России // *Криосфера Земли*. 2005. Т. 9. № 1. С. 89–95.
17. *Пармузин С.Ю., Суходольский С.Е.* Пластовые льды Среднего Ямала и их роль в формировании рельефа // *Пластовые льды криолитозоны*. Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1982. С. 51–61.
18. *Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк) / под ред. В.Т. Трофимова*. М.: Изд-во МГУ, 1975. 278 с.
19. *Природная среда Ямала*. Т.2. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 1995. 102 с.
20. *Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал — Центр*. М.: ГЕОС, 1997. 432 с.
21. *Романовский Н.Н.* Основы криогенеза литосферы. М.: Изд-во МГУ, 1993. 336 с.
22. *Сакс В.Н.* Четвертичный период в Советской Арктике // *Труды НИИГА*. Л. — М.: Изд-во Министерства морского и речного флота, 1953. Т. 77. 627 с.
23. *Скоробогатов В.А., Строганов Л.В., Конев В.Д.* Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М.: Недра, 2003. 352 с.
24. *Фотиев С.М.* Типизация таликов Ямала // *Геоэкология*. 1996. № 6. С. 65–73.
25. *Шаманова И.И., Уваркин Ю.Т.* Зональные особенности подоцерных таликов на севере Западной Сибири // *Труды ПНИИИС*. Вып. 29: Геокриологические исследования при инженерных изысканиях. М.: Стройиздат, 1974. С. 70–83.
26. *Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты / под ред. В.Т. Трофимова*. М.: Изд-во МГУ, 1986. 246 с.
27. *Эрозионные процессы Центрального Ямала / под ред. А.Ю. Сидорчука, А.В. Баранова*. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 350 с.
28. *Brouchkov A., Griva G.* Pipelines on Russian North: review of problem of interaction with permafrost // *Research Journal of Hokkaido University*. 2004. V. 66. № 2. P. 241–249.
29. *Nelson F.E., Anisimov O.A.* Permafrost distribution in the Northern Hemisphere under scenarios of climatic change // *Global and Planetary Change*. 1996. V. 14. № 1–2. P. 59–72.
30. *Pavlov A.V.* Active layer monitoring in northern West Siberia // *Proceedings of the 7th International Conference on Permafrost* (ed. by A.G. Lewkowicz, M. Allard). Nordicana, Yellowknife, Canada: Laval University Press, 1998. P. 875–881.

# КАРБОНАТНЫЙ ЭЛЮВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ г. КАЗАНИ

## CARBONATE ELUVIUM IN THE KAZAN CITY AREA

### МУРАВЬЕВ Ф.А.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии  
Института геологии и нефтегазовых технологий (ИГиНГТ)  
Казанского (Приволжского) федерального университета  
(КФУ), к.г.-м.н., г. Казань, Россия,  
fedor.mouraviev@yandex.ru

### ЖАРКОВА Н.И.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии ИГиНГТ  
КФУ, к.г.-м.н., г. Казань, kazannad@rambler.ru

### ЛАТЫПОВ А.И.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии  
ИГиНГТ КФУ, к.т.н., г. Казань, airatlat@mail.ru

### MOURAVIEV F.A.

Associate professor of the department of general geology and hydrogeology of the Institute  
of Geology and Oil-and-Gas Technologies of the Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), fedor.mouraviev@yandex.ru

### ZHARKOVA N.I.

Associate professor of the department of general geology and hydrogeology of the Institute  
of Geology and Oil-and-Gas Technologies of the Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), kazannad@rambler.ru

### LATYPOV A.I.

Associate professor of the department of general geology and hydrogeology of the Institute  
of Geology and Oil-and-Gas Technologies of the Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, PhD (candidate of science in Technics), airatlat@mail.ru

### Ключевые слова:

карбонатный элювий; физико-механические свойства грунтов;  
пермские отложения; доломит; трехосные испытания;  
суффозия; карстовые и суффозионные процессы.

### Key words:

carbonate eluvium; physical-mechanical properties of soils;  
Permian deposits; dolomite; triaxial compression tests; suffusion;  
karst and suffusion processes.

### Аннотация

Проведено картирование территории г. Казани по мощности и глубине залегания кровли карбонатного элювия. Представлены результаты исследования литолого-минералогических, физических и физико-механических свойств этих отложений, отобранных в одной из скважин с глубин 50–120 м. Показано, что состав и свойства карбонатного элювия определяются геологической историей его формирования, а наиболее устойчивым минералом в его составе является доломит. Указано, что оптимальным методом лабораторных испытаний данного грунта является трехосное сжатие, причем схема испытания должна выбираться в зависимости от доли присутствующего в нем древесново-щебнистого материала. Рекомендовано при изысканиях в районах развития карбонатного элювия уточнять результаты лабораторных исследований, используя данные полевых испытаний. Приведены примеры опасных геологических процессов на территориях с неглубоким залеганием карбонатного элювия.

### Abstract

The burial depths and thickness of carbonate eluvium are mapped in the Kazan city area. Results of investigation of the lithological, mineralogical, physical and mechanical properties of these deposits sampled from one of the boreholes at the depths of 50-120 m are presented. It is shown that the composition and properties of carbonate eluvium are determined by the geological history of its forming, the most stable mineral in its composition is dolomite. It is pointed out that the optimal method of laboratory investigation of this soil is triaxial compression testing and the test pattern is chosen according to the proportion of coarse-grained material in it. The authors recommend to improve laboratory test results using field testing data for engineering geological surveys in carbonate eluvium areas. Some examples of dangerous geological processes in the areas of shallow bedding of carbonate eluvium are given.

### Введение

Широкое распространение карбонатного элювия, относимого к особому типу грунтов, на территории г. Казани и интенсивное освоение геологической среды в последние годы обусловили необходимость выработки оптимальных методов исследования этих отложений. Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена увеличивающимися объемами строительства, связанными с освоением подземного пространства (строительством метрополитена, паркингов, тоннелей, переходов и др.), возведением высотных зданий со сложными конструктивными решениями фундаментов, расширением границ города.

При инженерных изысканиях, проводимых на различную глубину в г. Казани, инженеры-геологи по-разному подходят к диагностике и физико-механическим испытаниям карбонатного элювия. Большинство исследователей описывают его как скальный грунт (доломит, известняк), приводя в качестве прочностных характеристик лишь предел его прочности на одноосное сжатие. Другая часть инженеров-геологов диагностирует карбонатный элювий как «карбонатно-глинистую муку» и использует методики, применяемые при исследованиях дисперсных грунтов, такие как компрессионное сжатие или одноплоскостной срез. При этом неясно, каким образом удастся изготовить образцы небольших размеров из монолитов, содержащих большое количество включений обломков карбонатных пород, и как оценивается влияние этих включений на получаемые результаты.

В задачи настоящего исследования входило получение новых более детальных данных относительно распространения, мощности, условий залегания, состава и деформационно-прочностных свойств карбонатного элювия на территории г. Казани.



## Геолого-гидрогеологические условия

Исследуемая территория расположена на востоке Русской платформы в пределах Волго-Уральской антеклизы. Ее геологическое строение характеризуется развитием мощного палеозойского осадочного чехла, в верхней части которого развит комплекс преимущественно морских отложений пермской системы.

Отложения сакмарского яруса нижней перми ( $P_1s$ ) представлены переслаивающимися загипсованными доломитами и гипсами с редкими прослоями песчаников и алевролитов (мощностью от 80 до 115 м). Выше с размывом залегают отложения казанского ( $P_2kz$ ) и уржумского ( $P_2ur$ ) ярусов средней перми. Карбонатные породы представлены мергелями, известковистыми доломитами и доломитизированными известняками, большей частью органогенными, иногда окремнелыми. Карбонатные пачки мощностью от долей до первых десятков метров преобладают в средней части отдела, чередуясь с терригенными пачками (песчаников, алевролитов, глин) [2].

Пермские отложения образуют серию плакантиклиналей северо-западного простирания с амплитудой до 80 м, на крыльях которых породы характеризуются повышенной трещиноватостью, часто разрушенностью до дисперсного состояния. Более того, отложения уржумского яруса ( $P_2ur$ ), а также значительная часть отложений верхнеказанского подъяруса ( $P_2kz_2$ ) размывы в результате эрозии при формировании неоген-четвертичных долин рек Волги, Казанки и их притоков. Верхнеказанские ( $P_2kz_2$ ) преимущественно карбонатные пачки, а также терригенно-карбонатная толща уржумского яруса ( $P_2ur$ ) частично сохранились лишь в пределах восточного коренного берега Волги, а также на

крыльях плакантиклиналей, где их суммарная мощность не превышает 130 м (рис. 1) [7].

На дислоцированной и элюзированной поверхности размыва пермских пород залегают сложнопостроенный комплекс погребенных плиоценовых долин ( $N_2$ ) и четвертичных аллювиальных террас р. Волги и ее притоков (аQ). В большинстве случаев неоген-четвертичные отложения представлены песками различной крупности, супесями, суглинками и глинами. Максимальная мощность неоген-четвертичных отложений составляет около 180 м. Такие мощности характерны для осевой части плиоценовых врезов ( $N_2$ ), перекрытых аллювиальными супесчано-суглинистыми отложениями нижнего и среднего плейстоцена (аQ<sub>1-2</sub>).

В зоне активного водообмена выделяют следующие гидростратиграфические подразделения: водоносный (локально слабодоносный) четвертичный аллювиальный комплекс, водоносный плиоценовый аллювиальный комплекс, водонепроницаемый локально слабодоносный уржумский терригенный комплекс, водоносный казанский терригенно-карбонатный комплекс, водоносная сакмарская карбонатно-сульфатная серия. Из-за наличия глубоких плиоценовых врезов в зоне активного водообмена первые четыре комплекса образуют единую гидродинамическую систему. Воды — безнапорные, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые, с минерализацией 0,3–0,7 г/дм<sup>3</sup>, в местах восходящей разгрузки нижнепермских вод (на крыльях антиклиналей, в тальвегах палеодолин) — от сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевых до сульфатно-кальциевых с минерализацией 1,5–2,0 г/дм<sup>3</sup>. Подземные воды водоносной сакмарской карбонатно-сульфатной серии — локально напорные, сульфатно-кальциевые, с минерализацией 1,5–2,7 г/дм<sup>3</sup> [2].

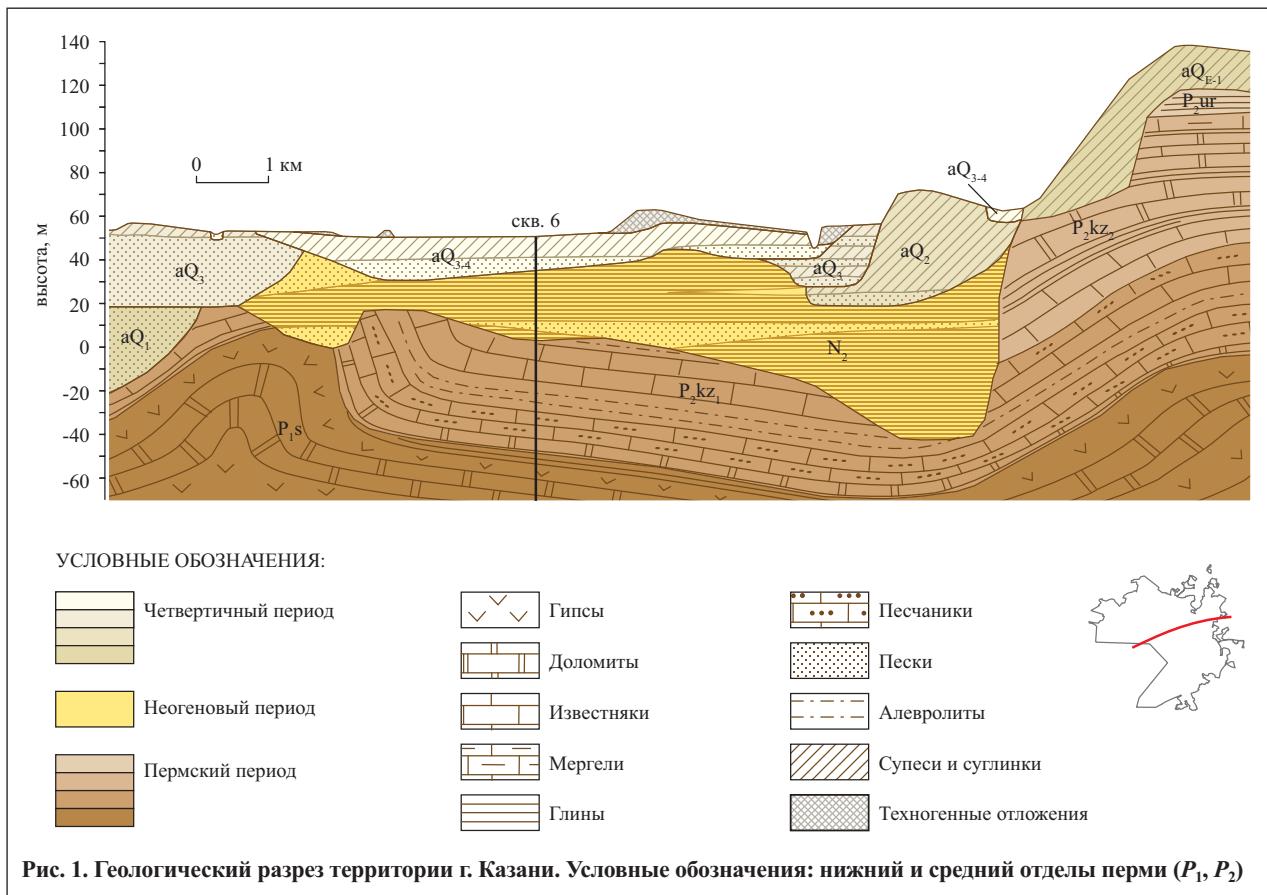


Рис. 1. Геологический разрез территории г. Казани. Условные обозначения: нижний и средний отделы перми ( $P_1, P_2$ )

| Критерии районирования территории г. Казани по глубине залегания кровли выветрелых карбонатных пород |  |  |
|--|--|--|
| Глубина залегания, м   | Положение карбонатного элювия относительно элементов геологической среды | Процессы в зоне взаимодействия сооружений с геологической средой, обусловленные наличием карбонатного элювия   |
| <20  | Всегда входит в состав ЛТС   | Растворение и/или суффозионное разуплотнение (природное и техногенное), неравномерные осадки, провалы, оседание поверхности. Плотность карстово-суффозионных воронок — более 1 шт./км <sup>2</sup> |
| 20–30  | Часто входит в состав ЛТС  | Растворение и/или суффозионное разуплотнение (природное и техногенное), оседание поверхности. Плотность карстово-суффозионных воронок — менее 1 шт./км <sup>2</sup>                                |
| 30–50  | Редко входит в состав ЛТС  | Редкие единичные карстово-суффозионные воронки   |
| >50  | Не входит в состав ЛТС   | Процессы отсутствуют   |

### Методика исследований

Для установления положения толщ карбонатного элювия в пространстве авторами был проведен анализ баз данных скважинного материала (по 911 скважинам) с использованием программного продукта ArcView 3.3. Это позволило выполнить картирование видимой мощности карбонатного элювия в центральной части города, а также районирование на исследуемой территории по глубине залегания кровли выветрелых карбонатных пород (с привлечением данных из работы [9]), поскольку информация о мощности и положении в пространстве специфических грунтов такого типа, несомненно, имеет большое практическое значение (для проектирования, строительства и эксплуатации сооружений).

При определении граничных значений классификационного показателя «глубина залегания» авторы опи-

рались, с одной стороны, на положение карбонатного элювия относительно элементов геологической среды, а с другой — на активность карстово-суффозионных процессов, которая в пределах равнинных территорий во многом определяется мощностью покровных нерастворимых отложений (см. таблицу). Так, на участках города, в пределах которых карбонатный элювий залегает на глубине более 50 м, неблагоприятные для сооружений явления, обусловленные наличием таких специфических грунтов, практически отсутствуют. На участках же с неглубоким залеганием выветрелых карбонатов (до 20 м), напротив, активно развиваются карстовые и суффозионные процессы, от которых нередко страдают сооружения, поскольку в условиях города с развитой подземной инфраструктурой такие грунты практически всегда входят в состав литотехнических систем (ЛТС). Именно на таких участках они наиболее подвержены техногенному

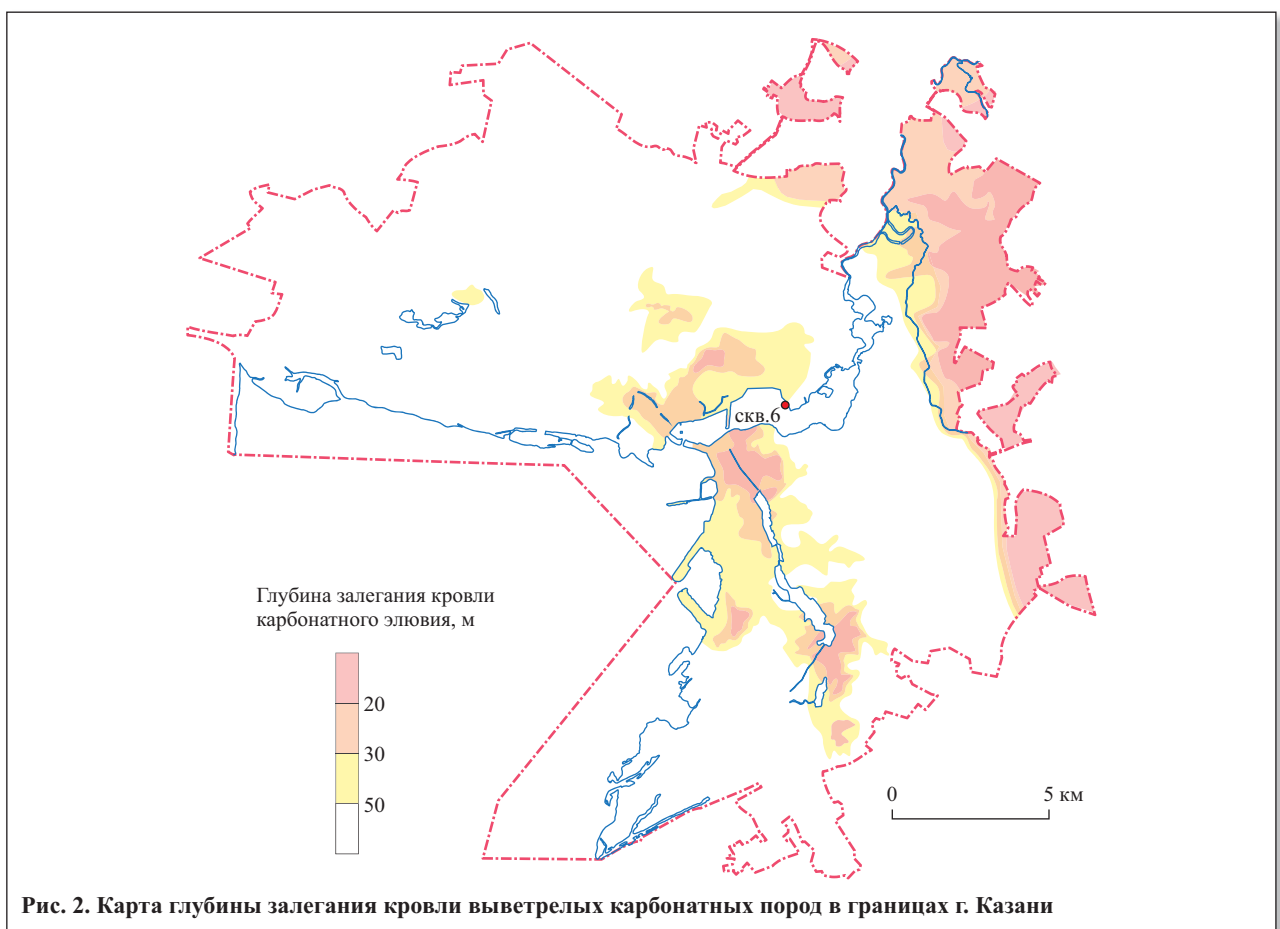


Рис. 2. Карта глубины залегания кровли выветрелых карбонатных пород в границах г. Казани



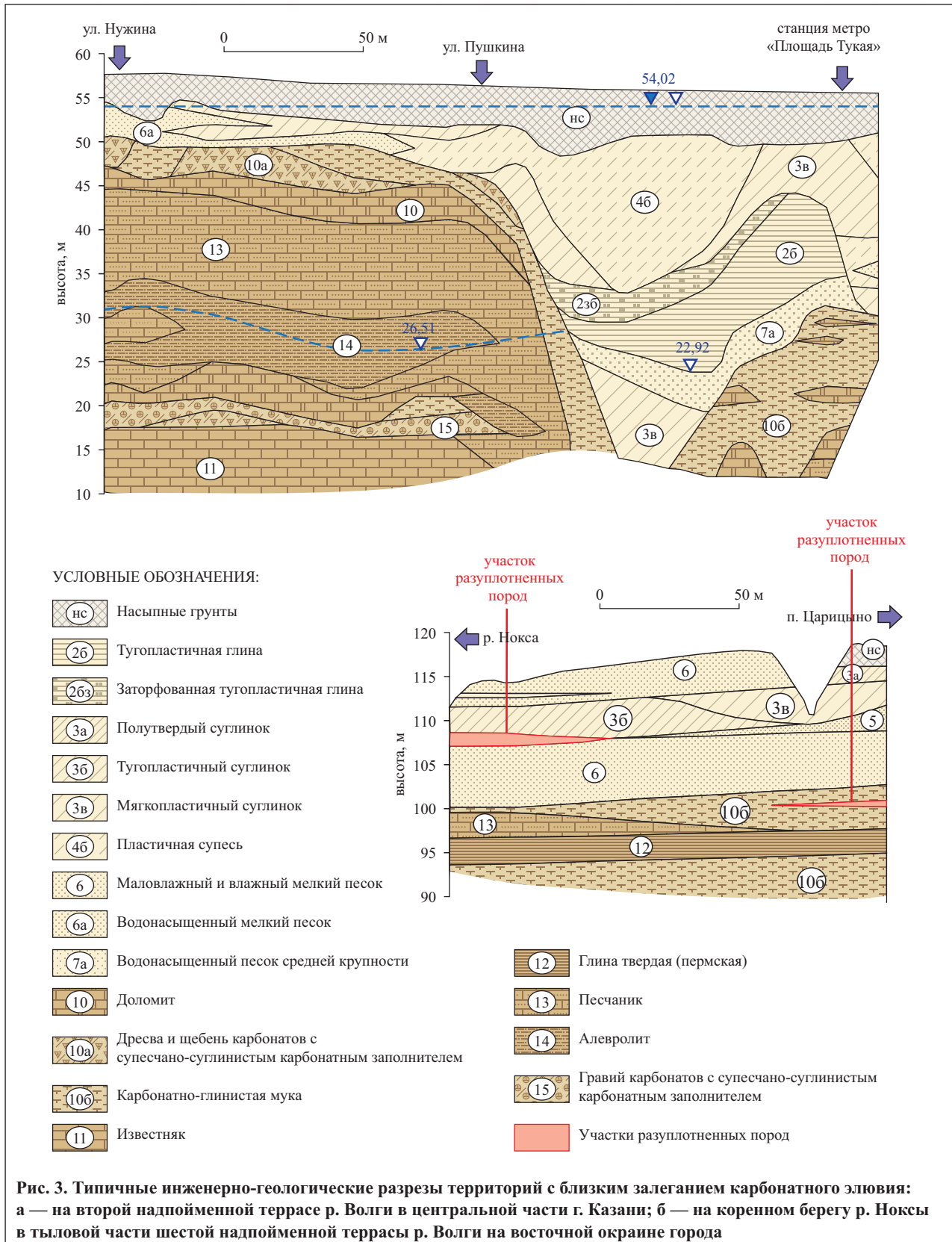
растворению и суффозионному разуплотнению. Для этих участков также характерна наибольшая плотность карсто-суффозионных форм.

Для исследования состава, строения и свойств карбонатного элювия детально изучался керн одной из скважин (скважины 6), пробуренной на правом берегу р. Казанки в 2012 г.

Для изучения строения данных отложений, размеров и формы обломков использовалась традиционная оп-

тическая микроскопия в проходящем свете. Некоторые образцы исследовались в ЦКП микроскопии Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ) на сканирующем электронном микроскопе с энергодисперсионной приставкой SEM EVO GM (Carl Zeiss) (высокий вакуум, напряжение 25 кВ).

Для детализации минерального состава образцов проводился рентгенографический анализ на приборе SHIMADZU XRG-7000 в лаборатории фазового анали-



за Института геологии и нефтегазовых технологий (ИГиНГТ) КФУ. Использовались преимущественно порошковые препараты, изготовленные по стандартной методике. Режимы съемки соответствовали поставленным задачам: диапазон от 3 до 38° (2Q), шаг 0,02 град./мин. при экспозиции 4 с,  $\text{CuK}\alpha$ -излучение, напряжение на трубке 30 кВ.

Неоднородность строения и пространственное распределение пустот в карбонатном элювии изучались на образцах ненарушенной структуры методом рентгеновской компьютерной томографии (РКТ). Исследования проводились в лаборатории РКТ ИГиНГТ КФУ на приборе Phoenix V|tome|X S 240 с использованием микрофокусной трубки. Съемка проводилась при ускоряющем напряжении 200 кВ и токе 700 мА, разрешение составляло 146 мкм.

Гранулометрический состав, а также все физико-механические свойства определялись в лаборатории механики грунтов ИГиНГТ КФУ на установках трехосного сжатия конструкции НПП «Геотек» и компании Wile Geotechnik.

Для механических испытаний были использованы образцы грунта ненарушенного сложения цилиндрической формы диаметром 50 и 100 мм, высотой 100 и 200 мм соответственно. Размеры образца принимались в зависимости от однородности грунта и величины включений.

В процессе испытаний фиксировались значения вертикального давления (МПа), давления в камере (МПа), давления поровой жидкости по верхнему и нижнему торцам образца (МПа), вертикальная дефор-

мация (мм), объемная деформация ( $\text{мм}^3$ ) и радиальная деформация в средней части образца (мм).

Предварительное обжатие (реконсолидация) образцов до восстановления природной плотности было выполнено по методу ВФС (восстановления двухфазного состояния).

Вертикальная нагрузка прикладывалась при ранее достигнутом давлении в камере и перекрытом дренаже при кинематическом режиме нагружения со скоростью 0,5% в минуту.

Определяемыми деформационными характеристиками являлись модуль деформации и коэффициент Пуассона, прочность образцов оценивалась по значению сопротивления недренированному сдвигу  $C_u$ . Для этого образцы грунта испытывались приложением вертикальной нагрузки при заданном всестороннем давлении до разрушения (достижения максимума осевой нагрузки) или до достижения относительной вертикальной деформации образца  $\varepsilon=0,15$ .

### Положение в пространстве и мощность карбонатного элювия

Положение кровли карбонатного элювия пространственно связано с поверхностью размыва пород средней перми. Можно выделить две зоны неглубокого залегания их кровли (менее 50 м) — восточную, примыкающую к левому коренному берегу р. Волги, и центральную, пространственно связанную с серией эрозионно-тектонических среднепермских останцов (рис. 2).

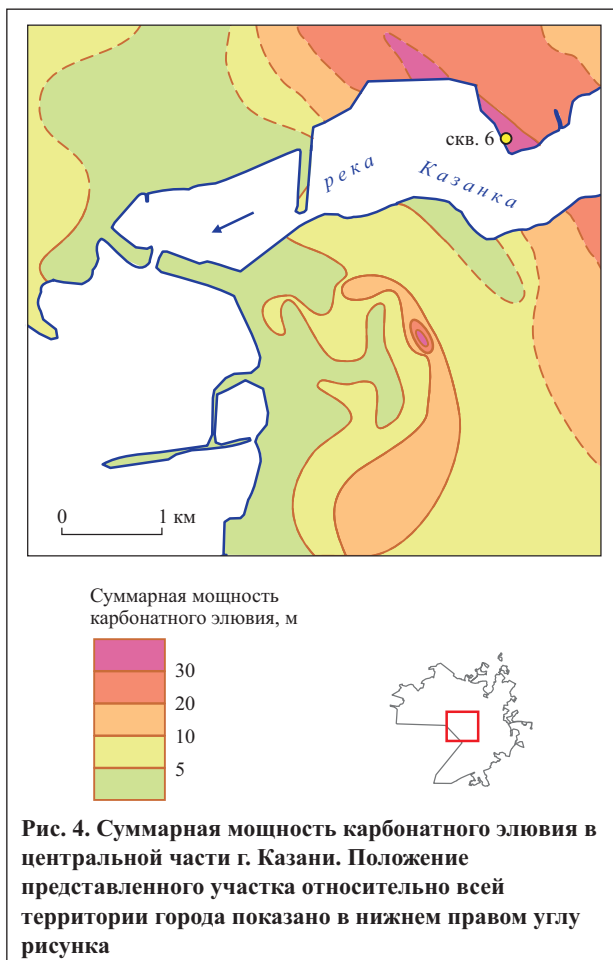
Подавляющая часть карбонатного элювия сосредоточена вблизи поверхности размыва. Тем не менее нередко наблюдается его залегание в виде прослоев и линз среди как невыветрелых карбонатных, так и терригенных пород различной степени разрушенности. Мощность таких элювиальных покровов, прослоев и линз изменяется в весьма широком диапазоне — от первых десятков сантиметров до 10–15 м (рис. 3).

Столь сложное залегание обусловлено:

- неравномерным чередованием карбонатных и терригенных пачек средней перми;
- первичной и вторичной неоднородностью минерального состава карбонатов (пятнистая доломитизация известняков и окремнение известняков/доломитов не способствуют их выветриванию);
- различными гидрогеохимическими условиями в прошлом и настоящем, что привело к разной степени выветрелости первоначально схожих по строению и составу пород.

Необходимо отметить, что иногда мощные неоднородные толщи карбонатного элювия по своей сути являются карстовой брекчией, сформировавшейся в результате обрушения кровли карстовых полостей в гипсах и доломитах нижней перми. Именно для такого типа элювия характерно присутствие глинистых минералов и кварца в минеральном составе пород.

Наиболее достоверно суммарную мощность карбонатного элювия можно оценить в центральной части города благодаря хорошей геологической изученности этого района и неглубокому залеганию исследуемых грунтов (на левом берегу р. Казанки на рис. 4). В целом, для исторического центра характерна толщина данных отложений до 5–10 м. Лишь в пределах вершин





останцов, где от размыва сохранилась более карбонатная средняя часть P<sub>2</sub>, можно наблюдать мощность более 10–15 м и в очень редких случаях более 30 м.

В пределах восточной области неглубокого залегания поверхности размыва мощность карбонатного элювия по данным единичных скважин оценивается также в диапазоне 2–5 м, реже 10 м.

Предположительно наибольшая суммарная мощность карбонатного элювия характерна для области развития неогенового вреза Пра-Волги. В единичных глубоких скважинах была зафиксирована его видимая мощность 40–70 м [7]. В частности, по данным скважины 6 на 70 м пермских отложений приходится 41 м выветрелых карбонатных пород (рис. 5).

Вышеуказанные особенности объясняются, во-первых, различными типом, интенсивностью и длительностью процессов выветривания на исследуемой территории. Так, 23 млн лет назад с началом миоцена (N<sub>1</sub>) на-

чался активный подъем востока Восточно-Европейской платформы (с амплитудой 200–300 м), что привело к формированию глубокой каньонобразной долины Пра-Волги [8]. В этот сравнительно холодный период в днище и на крутых склонах долины, вероятно, доминировало физическое выветривание. Затем, в течение плиоцена (N<sub>2</sub>, 5,3–2,6 млн лет назад) происходит заполнение долины аллювием и большая часть дезинтегрированных карбонатных пород на многие тысячелетия оказывается в зоне полного водонасыщения. Начиная с этого периода здесь доминирует химическое выветривание. В дальнейшем череда четвертичных похолоданий и потеплений, вызвавших колебания уровня мирового океана, привела к формированию серии аккумулятивных террас р. Волги и ее притоков. На данном этапе формируется преимущественно маломощный слой выветрелых пород, поскольку эти периоды были не столь длительными, а эрозионные врезы были не так велики, как в неогене.

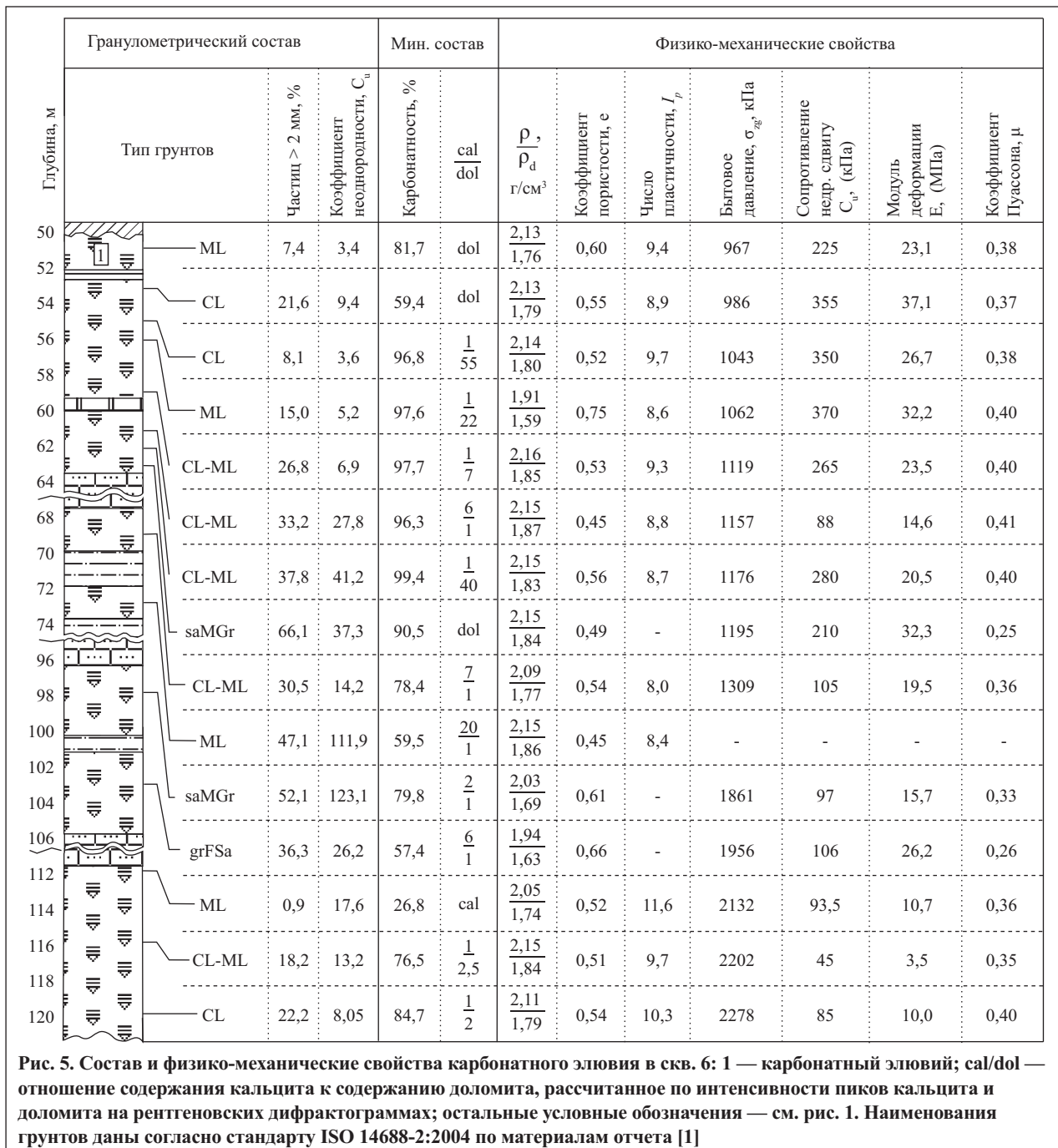




Рис. 6. Неоднородный состав карбонатного элювия (скв. 6, обр. 06–62, глуб. 62 м): а — песчано-гравийный материал; б — пылевато-песчаные зерна в этом материале; в — микрофотография SEM корродированного кристалла доломита на поверхности доломитового гравия

Во-вторых, существенную роль в разрушении карбонатных пород до дисперсного состояния играют подземные воды. Наиболее активному выщелачиванию и суффозионному разуплотнению подвергаются глубоко залегающие карбонатные породы, расположенные на крыльях плакантиклиналей и в тальвегах неогеновой палеодолины, где, вероятно, начиная с неогена осуществляется мощная разгрузка напорных сульфатных вод водоносной сакмарской карбонатно-сульфатной серии. В настоящее время благодаря антропогенному загрязнению грунтовых вод происходит активизация процессов выветривания на участках с неглубоким залеганием карбонатов, что приводит лишь к локальным увеличениям мощности выветрелых пород (см. рис. 4) [6].

Таким образом, большие мощности элювия вблизи погребенной неогеновой долины объясняются более длительным периодом дезинтеграции во время продолжительного эрозионного расчленения (в течение примерно 17 млн лет), а затем периодом химического выщелачивания и суффозионного разуплотнения (в течение примерно 5 млн лет).

### Состав, строение и физико-механические свойства карбонатного элювия

По гранулометрическому составу исследуемые отложения можно классифицировать как карбонатные супеси и суглинки с включениями обломков карбонат-

ных пород и как гравийно-щебнистый карбонатный грунт с заполнителем из карбонатного песка и пыли (см. рис. 5).

Основная масса карбонатного элювия представлена частицами 0,10–0,01 мм, практически нет частиц мельче 0,005 мм. Содержание дресвы и щебня карбонатных пород колеблется в диапазоне от 8 до 49% у карбонатных супесей и суглинков и от 50 до 70% у гравийно-щебнистых карбонатных грунтов. Во всех исследуемых отложениях супесчано-суглинистый заполнитель имеет близкие значения показателя пластичности  $I_p$  (от 8 до 10), что объясняется наличием карбонатной пыли (с размером частиц 0,10–0,01 мм) и отсутствием глинистого вещества. Именно частицы размером менее 0,01 мм отвечают за пластичность исследуемых грунтов. Кроме того, фильтрационные свойства исследуемых отложений очень близки между собой: их коэффициент фильтрации  $K_f$  находятся в диапазоне от  $0,2 \times 10^{-4}$  до  $0,6 \times 10^{-4}$  м/сут, что характеризует их как водонепроницаемые [5]. Последнее также объясняется сходством состава мелкой фракции.

Ранее многие исследователи неоднократно указывали на значительную неоднородность карбонатного элювия по гранулометрическому составу [6, 9]. Результаты исследований керна скважины 6 также подтверждают это предположение: коэффициент неоднородности  $C_u$  закономерно изменяется по разрезу от 3 до 123 (см. рис. 5). Обломки гравийной, песчаной и пылеватой фракций имеют угловатую форму (рис. 6, а, б), а самые мелкие обломки имеют размеры 0,001–0,002 мм и, по существу, являются отдельными зернами доломита, как правило, ромбоэдрической формы. Таким образом, исходная порода разрушается до отдельных зерен. Исследования по другим скважинам и обнажениям, выполненные авторами ранее на территории Казани (более 80 образцов), показали, что в карбонатном элювии как доломитового, так и доломит-известкового состава доломит концентрируется во фракции мельче 0,01 мм.

Распределение плотности сухого грунта ( $\rho_d$ ) и пористости ( $e$ ) с глубиной носит закономерно-незаконный характер (см. рис. 5). Более глубоко залегающие горизонты карбонатного элювия даже с большим содержанием гравийного материала имеют меньшую плотность, чем верхние горизонты. Такое разуплотнение может быть результатом суффозионного выноса и/или выщелачивания, происходящих под действием напорной разгрузки сульфатных вод водоносной сакмарской карбонатно-сульфатной серии. О процессах выщелачивания (происходящего, очевидно, в зоне насыщения) также свидетельствует коррозия поверхности как отдельных зерен, так и всей поверхности обломков доломита (рис. 6, в).

Наличие этих процессов подтверждается исследованием карбонатного элювия методом РКТ. Снимок, представленный на рис. 7, а, характеризует общую объемную пористость одного из образцов, на рис. 7, б — неоднородность строения грунта и пористость в произвольных сечениях. Поры часто образуют цепочки и каналы вокруг крупных обломков (см. рис. 7, б), что может являться результатом избирательной суффозии.

Большинство изученных авторами образцов карбонатного элювия при большом разнообразии гранулометрического состава имеют близкий минералогиче-

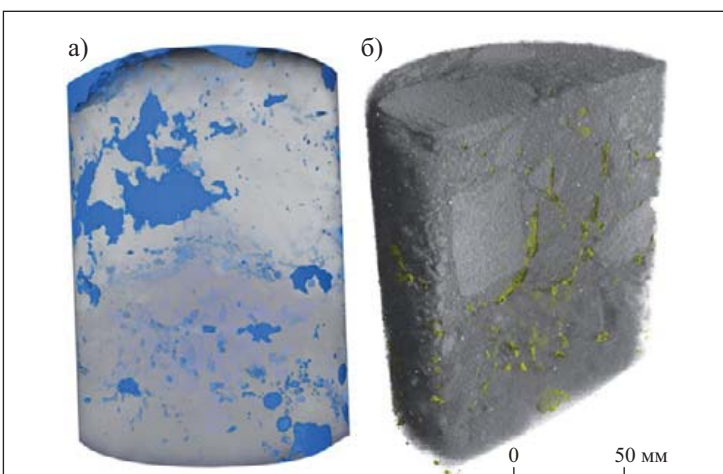


Рис. 7. Рентгеновские томографические снимки карбонатного элювия (скв. 6, глуб. 53 м): а — 3D-изображение общей пористости в монолите (синему цвету соответствуют пустоты); б — произвольные сечения (светло-серому цвету соответствуют обломки, желтому — пустоты)



ский состав. Они характеризуются, как правило, небольшой примесью кварц-полевошпатового обломочного материала и почти полным отсутствием глинистых минералов. Среди карбонатных минералов преобладает доломит в силу его большей устойчивости к выветриванию и распространения среди материнских пород [3].

Исследования, проведенные в лаборатории механики грунтов ИГиНГТ КФУ, показали, что при содержании дресвы и щебня карбонатных пород менее 50% изучаемые грунты при механическом нагружении деформируются и разрушаются как суглинки или супеси. Деформационные характеристики при этом в значительной степени зависят от процентного содержания и величины включений. Так, модули деформации, определенные по результатам трехосных испытаний, находятся в пределах 3–37 МПа, а коэффициенты Пуассона — в диапазоне от 0,35 до 0,41 (см. рис. 5).

В случае когда карбонатный элювий представляет собой гравийно-щебнистый грунт с заполнителем в виде муки, его необходимо испытывать как крупнообломочный грунт. В вышеуказанной лаборатории такие испытания проводились в установке трехосного сжатия для образцов диаметром 100 мм и высотой 200 мм. Размер частиц «максимальной» фракции при этом составлял одну пятую диаметра образца, т.е. 20 мм. В результате серии испытаний было установлено, что модули деформации таких грунтов находятся в пределах 16–32 МПа, коэффициенты Пуассона — в диапазоне 0,25–0,33 (см. рис. 5).

Влияние минерального состава на физико-механические свойства карбонатного элювия невелико. Отмечается лишь тенденция к уменьшению модуля деформации  $E$  с увеличением доли кальцита (см. рис. 5), объясняемая большей прочностью исходных микрочернистых доломитов по сравнению с исходными биогенными известняками.

### Геологические процессы, связанные с карбонатным элювием

Наличие карбонатного элювия в составе геологической среды предопределило развитие негативных гео-

логических и инженерно-геологических процессов на территории г. Казани.

1. На участках с пологим рельефом преимущественно на низких террасах в условиях близкого залегания грунтовых вод в результате неравномерного выщелачивания и дезинтеграции первично неоднородных материнских пород рядом исследователей зафиксированы оседания земной поверхности:

- локальные оседания диаметром несколько десятков метров и глубиной до 1 м в центральной части города выявлены на улицах Гоголя, Нужина, Баумана, Дзержинского, Астрономическая и Профсоюзная;
- более масштабные плавные оседания земной поверхности без разрыва сплошности с образованием крупных мульд размером в несколько сотен метров выявлены при повторном нивелировании в районах улиц Островского, Свердлова, Спартаковская, Ярмарочная и в районе Черного озера;
- общие нисходящие движения земной поверхности отмечены на значительной площади в центре города: максимальные скорости опускания наблюдаются у северного берега озера Нижний Кабан в районе улицы Островского и парка «Миллениум» (до 3–4 мм/год), вблизи северной части Кремлевского холма в районе улиц Ярмарочная и Ташаяк (4 мм/год и более), в районе Черного озера и улицы Дзержинского (до 3 мм/год) (они приурочены, по данным Нелидова, к наиболее высокой части эрозионного пермского останца в центральной части города [7]).

2. В пределах коренных склонов молодых эрозионных форм рельефа (речных долин, оврагов), вскрывающих карбонатную пермскую толщу, развиваются суффозионные и карстовые процессы, обусловленные, с одной стороны, высокой неоднородностью карбонатного элювия, с другой — высокими гидродинамическими градиентами и сезонными колебаниями уровня грунтовых вод в присклоновой части. Также локально отмечается выщелачивание (преимущественно кальцита) при наличии агрессивных вод по отношению к карбонатной части грунтов. В результате таких процессов формируются воронки (реже борозды) различной формы.

Значительное количество современных суффозионных и карстово-суффозионных форм приурочено к до-

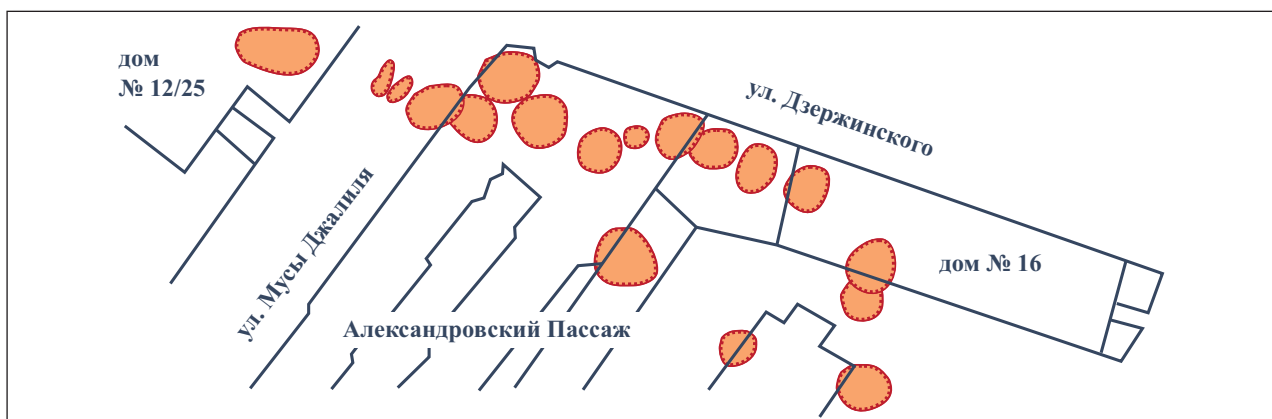


Рис. 8. Схема расположения карстово-суффозионных провалов под зданием Александровского пассажа в конце 70-х годов XX века (по данным ОАО «КазТИСИЗ»). Основная причина провалов: суффозионное и, возможно, химическое разуплотнение в толще карбонатного элювия из-за многолетнего техногенного подтопления. Диаметры воронок составляют 3–8 м, их глубина — 3–6 м. Поле воронок ориентировано вдоль склона Черноозерской впадины. Кровля карбонатного элювия залегает на глубине 8–10 м, его суммарная мощность составляет 13 м [2]



**Рис. 9.** Участок активного развития карстовых и суффозионных процессов в окрестностях п. Царицыно на северо-востоке г. Казани (апрель 2013 г., вид на запад). На переднем плане представлен свежий карстово-суффозионный провал размером в плане 6×10 м и глубиной 2,5 м, на заднем — глубокая карстовая котловина (100×120 м), борта которой осложнены многочисленными разновозрастными карстово-суффозионными воронками. Соответствующий инженерно-геологический разрез представлен на рис. 3, б

линам притоков реки Казанки (рек Киндерка, Нокса, Солонка), в меньшей степени они присутствуют в северо-восточной части Кремлевского холма (на склоне Черноозерской впадины) (рис. 8, 9). Диаметр воронок изменяется от 2 до 6 м (в среднем от 3 до 4 м), глубина — от 0,5 до 4 м (в среднем от 2 до 2,5 м). Их борта в верхней части крутые с хорошо выраженной бровкой, днище округлое и сухое. Следует отметить, что во всех указанных случаях плотность суффозионных и карстово-суффозионных форм возрастает в сторону бровок оврагов и речных склонов. Для некоторых участков характерна максимальная пораженность провальными формами — 1026 шт./км<sup>2</sup>, а следовательно, весьма высока степень суффозионной опасности.

### **Заключение**

Для территории г. Казани были получены новые данные по мощности и условиям залегания карбонатного элювия, относимого к особому типу грунтов, что позволило провести более детальное районирование

по положению в пространстве его толщ. Были детально изучены состав и свойства этих грунтов по керну одной из скважин (скв. 6). В том числе впервые для изучаемой территории были проведены трехосные испытания и оценены деформационно-прочностные свойства карбонатного элювия. По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

Карбонатный элювий широко развит на территории г. Казани, залегает на глубинах от 15 до 120 м вдоль границ пермских карбонатов и неоген-четвертичных толщ, не выдержан по простиранию, имеет специфическое строение, состав, свойства и относится к особому типу грунтов.

Формирование данных отложений является результатом длительного выветривания, связано с геологической историей развития региона в неоген-четвертичное время, с образованием эрозионных врезов и разгрузкой напорных сульфатных вод в днищах долин и на крыльях плакантиклиналей.

Карбонатный элювий представлен в основном доломитовыми суглинками с различной долей гравия и щебня, крайне неоднороден, несет следы выщелачивания, обладает низкой пластичностью (имеет число пластичности  $I_p \approx 8 \div 12$ ), характеризуется преобладанием в тонких фракциях песчаных и пылеватых частиц диаметром 0,01–0,10 мм, почти полным отсутствием глинистого компонента и, как правило, высокой карбонатностью (57–99%).

Участки с неглубоким залеганием кровли карбонатного элювия (центральная часть города, пространственно связанная с пермским эрозионным останцом, и его северо-восточные окраины, приуроченные к долинам малых рек) характеризуются суффозионной и карстово-суффозионной опасностью.

Для оценки механических характеристик карбонатного элювия в лабораторных условиях оптимальным является метод трехосного сжатия, причем схема испытания должна выбираться в зависимости от процентного содержания обломков карбонатных пород, а размеры образцов — в зависимости от величины включений. При этом необходимо постоянно оценивать возможность получения монолитов высокого качества, пригодного для изготовления образцов ненарушенного сложения, и по возможности уточнять результаты лабораторных исследований по данным полевых испытаний.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Анфимова С.В., Изотов Д.Н. и др. Отчет об инженерно-геологических изысканиях по объекту: «Коттеджный поселок в н.п. «Село Царицыно» Советского района г. Казани». Казань: Фонды ОАО «КазТИСИЗ», 2008. 47 с.
2. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия города Казани / под научн. ред. А.И. Шевелева. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2012. 236 с.
3. Горбачев Б.Ф., Васянов Г.П., Аблямитов П.О., Шишкин А.В. Влияние процессов гипергенеза на формирование, состав и свойства нерудного минерального сырья в Республике Татарстан // Георесурсы. 2007. № 4 (23). С. 28–33.
4. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Стандартинформ, 2011. 82 с.
5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013. 42 с.
6. Жаркова Н.И., Даровских Н.Н., Галеев Р.К. Состав и свойства верхнепермского карбонатного элювия, как фактор формирования инженерно-геологических условий центральной части г. Казани // Вестник Татарстанского отделения Российской экологической академии. 2005. № 4. С. 22–25.
7. Малышева О.Н., Нелидов Н.Н., Соколов М.Н. Геология района г. Казани. Казань: Изд-во КГУ, 1965. 95 с.
8. Сладкопевцев С.А. Новейший этап развития речных долин. М.: Недра, 1977. 200 с.
9. Устинова Н.П., Рожкова Ф.А. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Первый участок первой линии метрополитена в г. Казани РТ». Казань: Фонды ОАО «КазТИСИЗ», 1998. 125 с.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН ПОЛУОСТРОВА МУРАВЬЕВА-АМУРСКОГО (МОРФОСТРУКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ)

## GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF THE MURAVIEV-AMURSKY PENINSULA COASTAL ZONES (MORPHOSTRUCTURAL ASPECTS)

### МЯСНИКОВ Е.А.

Старший научный сотрудник лаборатории геоморфологии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, к.г.н., г. Владивосток, kvv@tig.dvo.ru

### КОРОБОВ В.В.

Младший научный сотрудник лаборатории палеогеографии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток, kvv@tig.dvo.ru

### СОРОКИН П.С.

Младший научный сотрудник лаборатории морских ландшафтов Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток, paveleco@mail.ru

### MYASNIKOV E.A.

A senior staff scientist of the Geomorphology Laboratory of the Pacific Institute of Geography of the FEB RAS, candidate of science (Geography), Vladivostok, kvv@tig.dvo.ru

### KOROBOV V.V.

A junior staff scientist of the Paleogeography Laboratory of the Pacific Institute of Geography of the FEB RAS, Vladivostok, kvv@tig.dvo.ru

### SOROKIN P.S.

A junior staff scientist of the Sea Landscapes Laboratory of the Pacific Institute of Geography of the FEB RAS, Vladivostok, paveleco@mail.ru

### Ключевые слова:

геологические и геоморфологические условия; опасные геологические процессы; экспресс-районирование; морфоструктурная основа; полуостров Муравьева-Амурского; Приморский край; Южное Приморье; объекты 24-го Саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сообщества (АТЭС) 2012 г.

### Key words:

geological and geomorphological conditions; dangerous geological processes; express zoning; morphostructural base; Muraviev-Amursky peninsula; Primorskiy Krai; Southern Primorye; objects of the 24th Summit of the Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) of 2012.

### Аннотация

На основе совместного анализа известных и выявленных авторами геологических и геоморфологических условий освоения прибрежных зон урбанизированных территорий полуострова Муравьева-Амурского, расположенного на юге Приморского края, составлены схемы экспресс-районирования типовых участков. На морфоструктурной основе выделены локальные участки возможного аномального развития обвалов, оползней и других опасных геологических процессов, а также места возможного переувлажнения грунтов в условиях техногенной нагрузки, главным образом при эксплуатации объектов 24-го Саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сообщества (АТЭС) 2012 г. Размещение и характер проявлений опасных геологических процессов контролируются прежде всего морфоструктурными (морфотектоническими) факторами, но эти процессы могут усиливаться разными видами и степенью антропогенного вмешательства в природную среду. Даны соответствующие рекомендации по их нейтрализации.

### Введение

Актуальность исследований геологических и геоморфологических условий освоения прибрежных зон очевидна, т.к. определяется неустанным стремлением людей там безопасно жить, работать, строить и отдыхать [12, 15]. Однако, например, инженерно-геологическая изученность прибрежных зон урбанизированных территорий (УТ) Дальнего Востока России (ДВР), в частности полуострова Муравьева-Амурского, остается недостаточной, особенно в условиях начавшегося в последнее время интенсивного целевого освоения отдельных УТ [1, 7, 8]. В качестве примера можно отметить объекты 24-го Саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сообщества (АТЭС), состоявшегося в 2012 г. в г. Владивостоке, возведенные в рекордно короткие сроки, но, к сожалению, без должного инженерно-геологического обоснования. В результате многие объекты только начали функционировать или даже еще не сданы в эксплуатацию, а уже имеются примеры проявлений опасных геологических и техногенных процессов, часть из которых широко освещена в средствах массовой информации (оползни и небольшие обвалы вдоль новой автомагистрали Седанка — Патрокл, отседания грунта на путепроводе «Спутник» и др.).

Уже названы и основные причины «ошибки проектирования и строительства» [4]. Сложные природные условия и техногенные нагрузки всегда создавали и будут создавать экстремальные ситуации. Однако некоторые из них можно предвидеть и предупреждать исходя, например, из особенностей геоморфологических, геологических и антропогенных условий строительства. К сожалению, соответствующие исследования во взаимосвязи друг с другом и с другими факторами традиционно не проводятся в должной мере.

В условиях слабо и неравномерно изученных урбанизированных территорий, по мнению авторов, на пер-

### Abstract

Express-zoning schemes of typical areas were constructed on the basis of joint analysis of geological and geomorphological conditions (known and revealed by the authors) of development of urbanized territories in the Muraviev-Amursky peninsula coastal zones (the Southern Primorye). Local areas of potential anomalous development of landfalls, landslides and other hazardous geological processes as well as sites of potential soil overwetting under antropogenic load (mainly during operation of the objects of the 24th Summit of the Asia-Pacific Economic Cooperation of 2012) were singled out on the morphostructural base. The location and development character of hazardous geological processes are first of all controlled by morphostructural (morphotectonic) factors. But these processes can be intensified by antropogenic intervention of different types and degrees into the environment. Corresponding recommendations for neutralization of them are given.



вом этапе необходим комплексный анализ всех имеющихся (часто немногочисленных и неполных) геоморфологических, геологических и геоэкологических данных на морфоструктурной основе и экспресс-районирование типовых участков прибрежных зон полуострова Муравьева-Амурского в инженерно-геологических целях, а затем, на следующем этапе, требуется детальное инженерно-геологическое районирование.

В связи с этим основной задачей первого этапа являлось комплексное исследование, включавшее: (1) анализ антропогенного освоения территорий прибрежных зон; (2) анализ связей современного состояния морфоструктур с геологическими процессами, а также антропогенными нагрузками; (3) экспресс-анализ и районирование типовых участков прибрежных зон по геологическим и геоморфологическим условиям их освоения на морфоструктурной основе.

Поясним смысл некоторых из используемых в данной статье терминов:

- *морфоструктуры* — геологические структуры, выраженные в рельефе;
- *морфоструктурный анализ* — анализ, объектом изучения которого являются морфоструктуры Земли; в его «сферу действия» попадают не только собственно морфоструктуры со свойственными для них морфологией (рельефом) и геологическим «содержанием», но и все факторы и процессы, связанные с их формированием и длительным геологическим развитием (вплоть до наших дней) [16].

Для качественной оценки крутизны склонов в статье используются уклоны, град.:

- <1 — очень пологие;
- 1–10 — пологие;
- 10–20 — умеренные;
- >20 — крутые.

Для качественной оценки расчлененности рельефа авторами выбрана густота речной сети, км/км<sup>2</sup>:

- <1,0 — очень слабая;
- 1,0–1,5 — слабая;
- 1,5–2,0 — умеренная;
- >2 — крутая.

В качестве основных типовых объектов исследования (рис. 1) были выбраны полуостров Шкота (А) и южная часть полуострова Муравьева-Амурского (Б).

### Антропогенная освоенность прибрежных зон полуострова Муравьева-Амурского

Степень антропогенной освоенности и технодинамической нагрузки крупномасштабных объектов урбанизированных территорий прибрежных зон наиболее полно отражает интегральный показатель, отражающий, с одной стороны, функциональную специализацию и плотность застройки, а с другой — геохимическое загрязнение грунтов и водной среды (в том числе акваторий). Соответствующие материалы по отдельным показателям в разное время были собраны специалистами научно-исследовательских институтов (ТИГ ДВО РАН и др.) и производственных организаций (таких как Приморгражданпроект, Приморгидромет, Примгеология и др.) [2, 6, 10, 11, 13]. Авторы настоящей статьи попытались проанализировать эти и собственные данные комплексно и в инженерно-гео-

логических и геоэкологических целях. Краткие результаты такого анализа изложены ниже.

В пределах полуострова Муравьева-Амурского по интегральному показателю выделяются три основные прибрежные зоны: Уссурийского залива; пролива Босфор Восточный; Амурского залива (см. рис. 1).

*Прибрежную зону Амурского залива* авторы подразделили на четыре подзоны (которые, в свою очередь, делятся на еще более низкоранговые участки).

1. **А.СП.** — *селитебно-промышленная подзона* (комплекс производств, связанных с морским и железнодорожным транспортом) с городским типом застройки и наиболее высокими значениями суммарного показателя загрязнения ( $32 < СПЗ \leq 128$ ), расположенная между мысами Токаревского и Фирсова. Это подзона максимальной технодинамической нагрузки.

2. **А.РК.** — *смешанная рекреационно-курортная подзона* с преимущественно сельским и локально городским типами застройки и умеренными значениями загрязнений ( $8 \leq СПЗ < 16$ ), находящаяся между мысами Фирсова и Дальний. Она отличается умеренной технодинамической нагрузкой.

3. **А.РС.** — *рекреационно-садоводческая (дачно-коттеджная) подзона* с сельским типом застройки и суммарным показателем загрязнения  $8 < СПЗ \leq 36$ . Она располагается между мысом Дальний и поселком Трудо-



вое и характеризуется минимальной технодинамической нагрузкой.

4. **А.ПС.** — производственно-складская подзона с сельско-промышленным типом застройки (16<СПЗ<64). К этой подзоне относятся территории поселков Трудовое и Угловой.

**Прибрежную зону Уссурийского залива** слагают три подзоны.

1. **У.ИР.** — участок строящегося игрового и развлекательного комплекса (в прибрежной зоне бухты Муравьиная). Здесь имеется повышенное загрязнение (16<СПЗ<32) и ожидается относительно повышенная технодинамическая нагрузка.

2. **У.РО.** — рекреационно-оздоровительная территория от мыса Геллера до бухты Горностай, включая территории международного детского лагеря «Океан» и пансионатов бухты Лазурная. Здесь наблюдается умеренное загрязнение (8<СПЗ<16), а технодинамическая нагрузка относительно слабая.

3. **У.СП.** — селитебно-производственная территория от бухты Горностай до полуострова Басаргина, включая ТЭЦ-2 с золоотвалами и другие объекты. На этом участке наблюдается максимальное загрязнение (32<СПЗ<128), технодинамическая нагрузка наиболее высока для прибрежной зоны Уссурийского залива.

**Прибрежную зону пролива Босфор Восточный** на данном этапе исследований целесообразно пока не подразделять на подзоны, а рассматривать в целом. Данная территория имеет умеренную степень загрязнения (16<СПЗ<32) и техногенной освоенности.

Подчеркнем, что в целом степень освоенности самая большая в прибрежной зоне Амурского залива, умеренная — на прибрежной территории пролива Босфор Восточный, относительно низкая — в зоне Уссурийского залива. При этом она относительно более высока в пределах береговых частей (благоприятных для портовых сооружений), а на склонах и водоразделах она ниже. Кроме того, имеет место и более дробное деление подзон, освоенность которых весьма сильно зависит от особенностей их геологического строения и рельефа.

Забегая вперед, отметим достаточно характерную для всех прибрежных участков урбанизированной территории полуострова Муравьева-Амурского черту антропогенного освоения — концентрацию жилой и производственной застройки разных типов, зачастую пространственно приближенную или располагающуюся в самих зонах повышенной раздробленности и трещиноватости земной коры с большими мощностями рыхлых образований и зачастую выположенными формами рельефа. Там, конечно, более дешевое и удобное строительство,



Рис. 2. Фрагмент геологической карты территории г. Владивостока по [17] (пояснения в тексте)



но на таких участках часто концентрируются геодинамически опасные зоны развития эндогенных и некоторых экзогенных геологических процессов. Кроме того, в таких местах зачастую проявлены или потенциально возможны подъем уровня грунтовых вод и увеличение их напорности, а в случае совмещения с геохимическим загрязнением могут также возникать дополнительные интегральные угрозы геоэкологического характера.

### **Морфоструктуры прибрежных зон п-ова Муравьева-Амурского и геологические процессы**

Большой объем среднemasштабных морфоструктурных исследований в пределах полуострова Муравьева-Амурского и в целом Владивостокской агломерации был проведен С.М. Тащи, Е.А. Мясниковым [14] и др. Есть также и опыт экспресс-районирования объектов АТЭС-2012 по эколого-геоморфологическим условиям их строительства на морфоструктурной основе [8]. Настоящая работа является их продолжением и направлена в основном на крупномасштабные исследования экзогенных геологических процессов (ЭГП) в пределах типовых районов прибрежных и бухтовых зон п-ова Муравьева-Амурского.

Согласно методическим требованиям морфоструктурного анализа ниже приводится краткая характеристика особенностей геологического и геоморфологического строения территории (сначала высокоранговых, потом низкоранговых морфоструктур), а также морфологические и морфометрические показатели водораздельных, склоновых и долинных типов, форм и элементов рельефа.

Прибрежные территории полуострова в морфоструктурном отношении состоят из *трех основных зон* — *западной, восточной и южной*. Это в целом опущенные крупные тектонические ступени по краям тектонического горста Муравьева-Амурского. Восточная и южная зоны (ступени) сложены в основном нижнепермскими породами поспеловской свиты (песчаниками, алевролитами, диабазами, спилитами, андезитами, риолитами и их туфами) и несколько приподняты относительно западной, в строении которой участвуют главным образом породы владивостокской свиты (туфы, туфобрекчии кислого и умеренного, реже основного состава) (рис. 2) [14, 17]. Поверхности прибрежных (блоковых) зон наклонены в стороны смежных впадин, причем в этих же направлениях усиливается степень деструкции. В настоящее время она наименьшая в западной зоне, средняя в восточной и наибольшая в южной. Последняя представлена грабенами (бухтой Золотой Рог, проливом Босфор Восточный) и остаточными блоками-горстами (полуостровами Диомид, Назимова, Басаргина и в целом южной части п-ова Муравьева-Амурского). Западная, восточная и южная зоны находятся в областях геодинамических влияний глубинных разломов. Это системы блоков (относительных целиков), ограниченных более низкоранговыми оперяющими разломами. В пределах каждой зоны прослеживаются или предполагаются две небольшие узкие ступени, из которых верхняя (приподнятая) располагается на суше, а нижняя (опущенная) — в пределах акватории.

Вся *западная прибрежная зона (зап)* располагается в области геодинамического влияния глубинного Му-

равьевского Западного разлома, который представлен парой крупных разломов северо-восточного простирания. Между последними развиты дуговые, реже диагональные и ортогональные разломы более низкого ранга. Они ограничивают положительные и отрицательные морфоструктурные блоки (элементарные ячейки).

В продольном направлении выделяются две основные подзоны с более дробными подразделениями (районами, участками и т.д.). С юга на север в пределах западной зоны последовательно располагаются следующие районы: полуостров Шкота, включая Спортивную гавань (А.СП.І), район между мысами Лагерный и Фирсова (А.СП.ІІ) и далее до мыса Дальний (А.РК.ІІІ). В пределах *северной подзоны* выделены районы сопряжения с устьями долин рек Богатая (А.РС.ІV) и Саперка (А.ПС.V) (см. рис. 1). Поперечные дизъюнктивные структуры выражены отрицательными формами и элементами рельефа. Ширина и протяженность отдельных звеньев (блоков) западной зоны различны, но в целом с юго-запада на северо-восток возрастает доля площади суши и, соответственно, положительных (приподнятых) блоков, а площадь и порядок (ранг) отрицательных блоков уменьшаются. При этом в целом увеличивается глубина вертикального вреза, возрастают высоты и степень горизонтальной и общей расчлененности склонов.

В пределах западной прибрежной зоны преобладают холмогорный и увалистый типы рельефа. От низкогорной части полуострова зона отделяется системой линейно вытянутых структурно обусловленных отрицательных элементов рельефа: низкопорядковых долин, ложбин, седловин и перегибов склонов. При этом холмогорье тяготеет в основном к восточной (тыловой) границе зоны, а увалы протягиваются прерывистой полосой вдоль фронтальной береговой части. В тыловой части перепады высот и крутизна склонов больше, а их горизонтальная расчлененность меньше. Во фронтальной части, наоборот, склоны становятся более пологими, прямыми и вогнутыми. Распространены овраги, особенно в прибрежной полосе.

Холмисто-увалистая западная зона имеет полигенетическую природу. Между указанной парой высокопорядковых разломов (тыловой и фронтальной границами) сосредоточена система таких форм рельефа, как террасы, террасоувалы, водосборные воронки, поверхности выравнивания линейного типа, овраги, низкие слабовыпуклые междуречья, ложбины, оползни и др. Аналогичные полигенетические поверхности имеют зоны продольных и поперечных разломов низкого ранга.

В целом для западной зоны характерны: выпуклые и уплощенные водоразделы, выпуклые и вогнутые склоны, U-образные и корытообразные долины, слабая и умеренная расчлененность рельефа, а также умеренная крутизна и пологость склонов.

По всем геоморфологическим признакам это зона, в которой относительно недавно имели место аномально высокие скорости денудации. В настоящее время они в целом не так высоки (стадия денудационно-аккумулятивного выравнивания), но в результате возможных 8-балльных землетрясений соответствующие геологические процессы потенциально опасны [9, 11].

**Восточная прибрежная зона (вос)** во многом аналогична западной, но выделяется менее отчетливо. Здесь также обнаруживается пара высокопорядковых

разломов северо-восточного простирания (зона геодинамического влияния Муравьевского Восточного глубинного разлома), а также единичные оперяющие ортогональные и диагональные разломы низкого ранга, но дугообразных почти нет.

В продольном направлении (с юго-запада на северо-восток) выделяются четыре основных района (блока) с мелкогорно-холмистым типом рельефа: между мысами Басаргина и Трех Камней (**У.СП.І**), далее до мыса Энгельма (**У.РО.ІІ**), затем до бухты Муравьиная (**У.РО.ІІІ**) и, наконец, последний участок ограничивается бухтой Муравьиная (**У.ИР.ІV**) (см. рис. 1).

Для района **У.СП.І** характерны: уплощенные и выпуклые водоразделы, прямые и выпукло-вогнутые склоны, U- и корытообразные долины, умеренная и слабая расчлененность рельефа, умеренные и реже крутые склоны. В пределах района **У.РО.ІІ** преобладают: уплощенные и выпуклые водоразделы, вогнутые и прямые формы склонов, корытообразные долины, очень слабая и слабая расчлененность, пологие склоны. Для района **У.РО.ІІІ** характерны выпуклые и гребневидные водоразделы, выпуклые и прямые формы склонов, U и V-образные долины, умеренная и повышенная расчлененность, крутые и умеренно крутые углы склонов. Район **У.ИР.ІV** отличается тем, что вдоль побережья протягивается узкая (до 0,5 км) полоса с почти плоской поверхностью с системой отдельных мелких вершин. Долины мелких водотоков имеют здесь в поперечнике корытообразную форму, а в верховьях — U- и V-образную. Таким образом, по геоморфологическим признакам степень разрушения восточной прибрежной зоны меньше, чем западной, но современная активность ЭГП выше в восточной зоне.

**Южная прибрежная зона (южн)** в основном состоит из трех ступеней на юге полуострова Муравьева-Амурского. Она ограничена с севера бухтой Золотой Рог и долиной реки Объяснения, а с юга — проливом Босфор Восточный. Поверхности ступеней наклонены к акваториям. Их северные склоны в два раза короче южных. Каждая ступень состоит из нескольких блоков — останцов, ограниченных ортогональными разломами, освоенными речными водотоками низкого ранга, узкими логами и хорошо выраженными седловинами.

Самая южная часть прибрежной зоны включает акватории пролива Босфор Восточный, бухт Патрокл, Улисс и Диомид. Сюда же входят полуострова Назимова и Басаргина. Дно пролива корытообразное и представляет собой, по-видимому, систему отрицательных блоковых морфоструктур. Они имеют тектонические границы. Фронтальная граница этой ступени — крутые скалистые берега указанных полуостровов, обращенные к проливу. Она также, по-видимому, совпадает с субширотными и дуговыми разломами.

В целом для южной прибрежной зоны характерны: выпуклые уплощенные водоразделы, прямые и выпуклые формы склонов, корытообразные и U-образные долины, слабая и умеренная расчлененность, умеренные и крутые склоны. Таким образом, относительная степень разрушения и современная активность ЭГП южной зоны занимают промежуточное положение между таковыми для западной и восточной зон.

Общий итог приведенной выше геологической и геоморфологической характеристики морфоструктур при-

брежных зон п-ова Муравьева-Амурского подтверждает и дополняет выводы предыдущих исследований [14]. Разрушение полуострова, по-видимому, связано с общим растяжением земной коры и погружением сопряженных впадин (грабенов) Амурского и Уссурийского заливов. В частности, тектоническое погружение прибрежных зон полуострова подтверждается отсутствием высоких морских террас [3]. Процессы разрушения и выравнивания сосредоточены в основном в зонах разломов. Эндогенные процессы растяжения земной коры тектонически дробят монолитные морфоструктуры на отдельные низкоранговые блоки. В разломных границах последних сосредотачиваются ЭГП. При этом эндогенные геологические процессы контролируют размещение и интенсивность экзогенных, а вместе они ведут к денудационно-аккумулятивному выравниванию.

Общая же (относительная) степень деструкции морфоструктур п-ова Муравьева-Амурского увеличивается с северо-востока на юго-запад. Наиболее активными являются зоны взаимодействия тектонопар «впадина — поднятие».

Достоверность указанных выводов и эффективность методики исследования дополнительно продемонстрируем на примерах типовых объектов прибрежных зон.

### Полуостров Шкота

Морфоструктурный план полуострова Шкота отражен на рис. 3. Вдоль западного побережья п-ва Муравьева-Амурского протягивается узкая полоса (3–4 км) холмисто-увалистого рельефа с фоновыми высотами 80–120 м. Поверхность расчленена многочисленными балками, оврагами и промоинами глубиной до 10 м. Ввиду того что территория сильно освоена, профили склонов и междуречий изменены, сnivelированы. Несмотря на это, сохранились отдельные продолговатые холмы, которые возвышаются на метры — десятки метров. Их наклон составляет 5–7° с возрастанием до 20° в прибрежной полосе, и они часто завершаются скальными береговыми обрывами и откосами.

*Морфоструктура полуострова Шкота*, как указывалось ранее, находится в зоне геодинамического влияния Муравьевского Западного глубинного разлома, который на суше представляет собой систему субпараллельных сближенных трещин северо-восточного, а также дугового и диагонального простирания. По ним развиваются линейные коры выветривания, которые часто сливаются. Отмеченные выше холмы представляют собой небольшие блоки — относительные целики. Овраги и промоины чаще всего формируются по дуговым и диагональным разломам. О насыщенности территории разломами свидетельствует строение южной и северной (района сопки Тигровая) частей п-ова Шкота, где плотность дизъюнктивов по данным не только морфоструктурных, но и геологических съемок велика. Дуговые и диагональные разломы ограничивают ступени низших рангов, которые постепенно спускаются к берегу моря, а также прослеживаются по батиметрическим данным в пределах акватории. Но картина осложняется наличием целиков и бухтовых образований. В целом морфоструктура полуострова является частью верхней опущенной ступени рельефа,



связанной с формированием впадины Амурского залива и бухты Золотой Рог, одновременно представляя собой автономный остаточный горст [14].

О строении подводного берегового склона, подножие которого опускается до глубины 20 м, известно мало, но он (по геоморфологическим и геофизическим данным) находится в зоне Муравьевского Западного разлома. Это служит основанием для отнесения данной морфоструктуры к нижней опущенной ступени рельефа, которая является также частью зоны перехода от положительной морфоструктуры к отрицательной. Такую же позицию занимает грабен — бухта Золотой Рог.

### Южная часть полуострова Муравьева-Амурского

Морфоструктурная схема южной части полуострова Муравьева-Амурского изображена на рис. 4. Основная черта его морфоструктурного плана — сложные сочленения зон геодинамического воздействия разломов Муравьевский Восточный и Босфор Восточный. Поэтому здесь сосредоточены выявленные по комплексу геоморфологических, геологических и геофизических данных низкопорядковые дизъюнктивы северо-западного направления (фрагменты разломов грабена Босфор Восточный), субширотного (грабен бухты Золотой Рог, долина р. Объяснения, бухта Улисс, перешейки по-

луостровов Назимова и Басаргина), северо-восточного (Уссурийский залив, бухта Диомид, верховья р. Объяснения и др.), а также субмеридионального простира- ния (долина реки Улисс и др.).

На дне пролива Босфор Восточный система отдельных небольших разрывных нарушений образует в плане единую дуговую разломную зону большого радиуса, обращенную выпуклостью на северо-восток. Разломы здесь имеют преимущественно взброс- сбросовую и сдвиго-сбросовую кинематику. Поперечные им разломы северо-восточного простира- ния, как предполагают А.В. Олейников, Н.А. Олейников [11] и другие (по данным геофизики, бурения и геологического картирования прибрежных территорий), часто оказываются кайнозойскими левосторонними сдвигами с амплитудами до 100 м. В северной части острова Русский упомянутыми геологами ПГО «При- мгеология», а также специалистами Института физи- ки Земли РАН (г. Москва) на п-ове Назимова незави- симо друг от друга были обнаружены палеосейсмо- дислокации, что вместе с инструментальными данны- ми по эпицентрам землетрясений позволяет предпо- лагать фоновую 8-балльную сейсмическую опасность по шкале MSK-64 [9, 11]. В северо-западной части пролива Босфор Восточный закартированы относи- тельно мощные (до 35 м) кайнозойские морские осад-

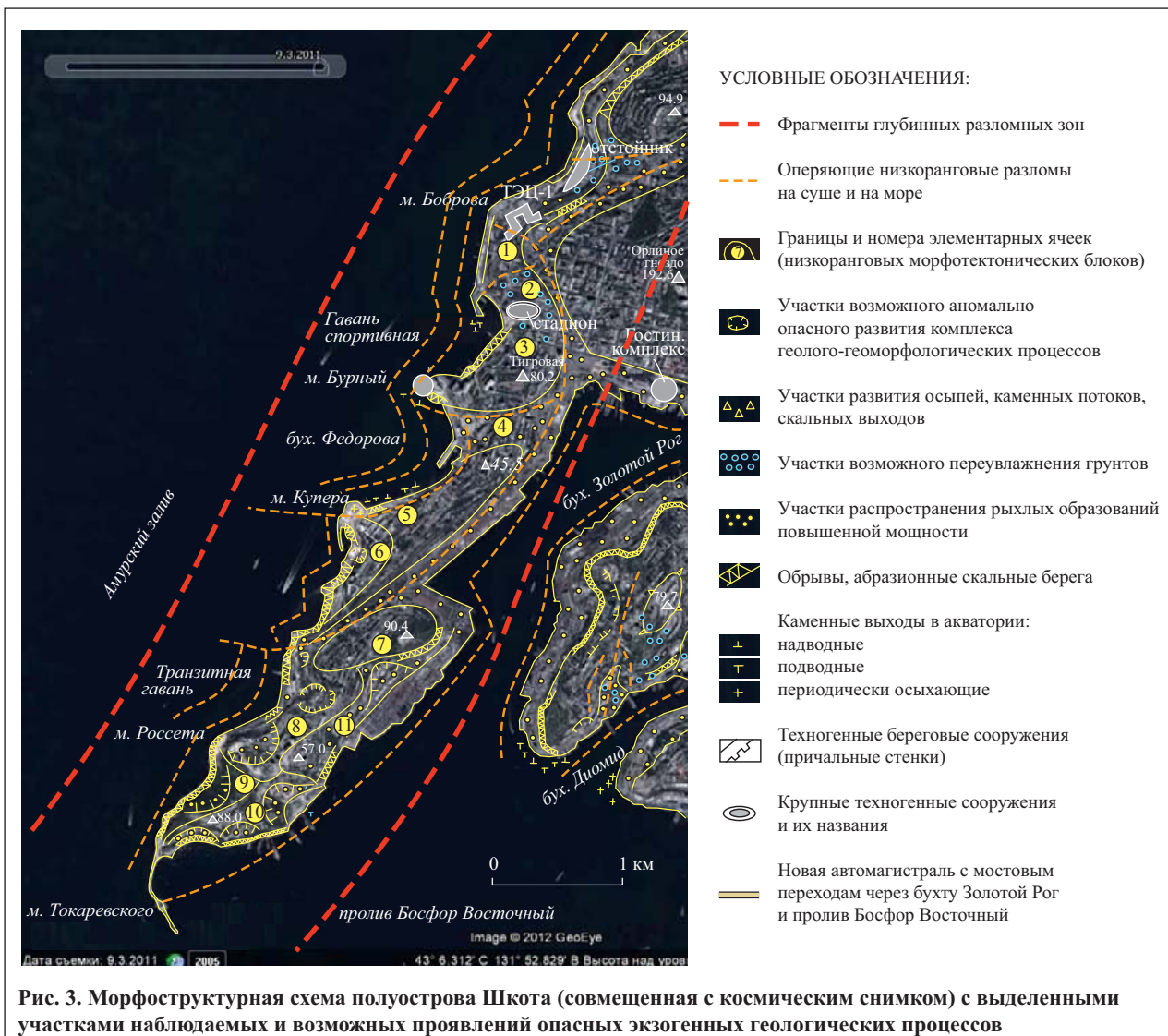
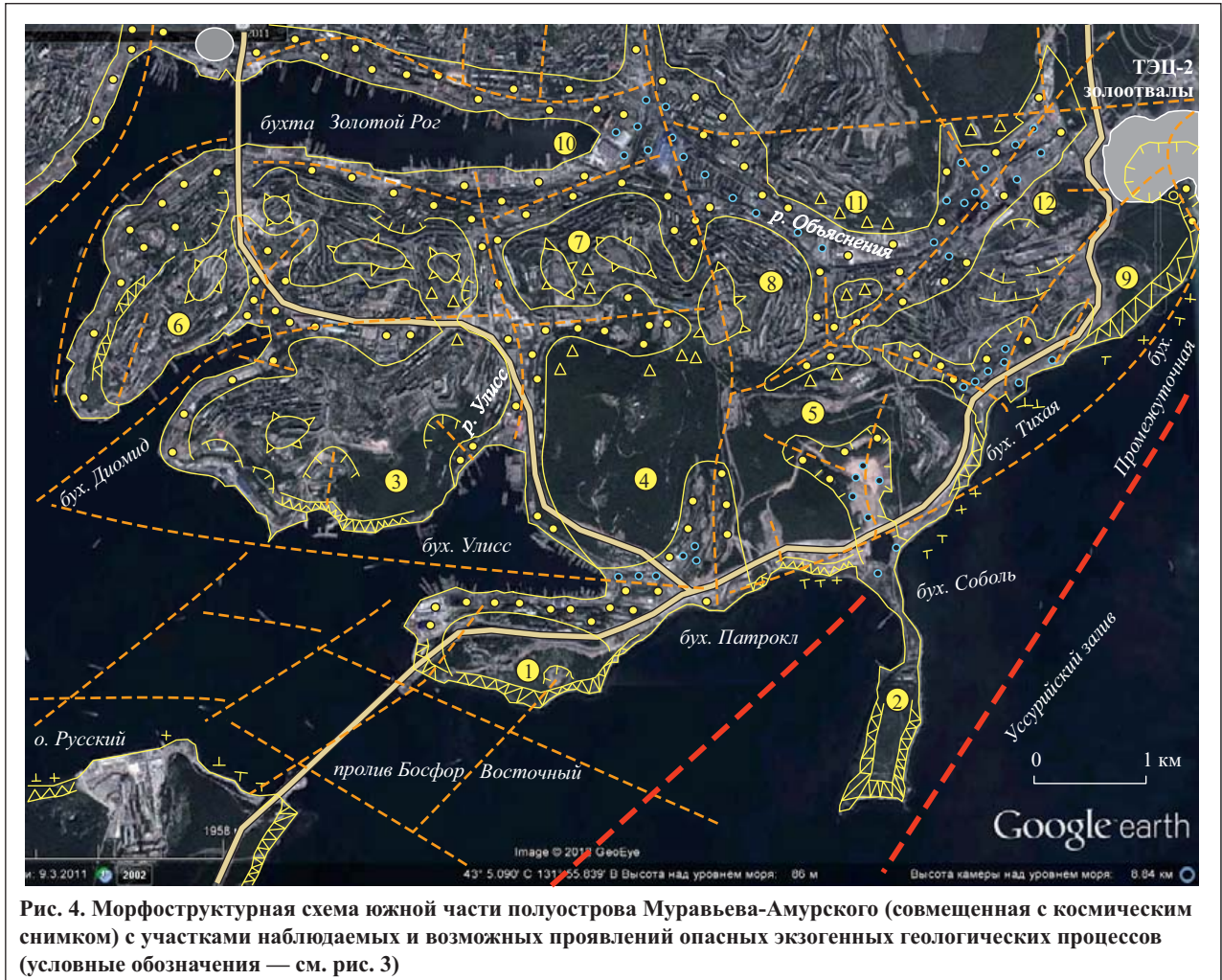


Рис. 3. Морфоструктурная схема полуострова Шкота (совмещенная с космическим снимком) с выделенными участками наблюдаемых и возможных проявлений опасных экзогенных геологических процессов



**Рис. 4.** Морфоструктурная схема южной части полуострова Муравьева-Амурского (совмещенная с космическим снимком) с участками наблюдаемых и возможных проявлений опасных экзогенных геологических процессов (условные обозначения — см. рис. 3)

ки одноименной впадины (грабена), указывающие на ее относительно большее погружение.

Далее к северу от грабена пролива Босфор Восточный последовательно чередуются следующие прибрежные ступени суши (блоки отседания):

- нижняя опущенная ступень зоны полуостровов Назимова (блок 1) и Басаргина (блок 2), сопряженных с соответствующими блоками акватории;
- средняя относительно приподнятая ступень (блоки 3, 4, 5, 9);
- верхняя приподнятая ступень (блоки 6, 7, 8);
- нижняя опущенная ступень залива Золотой Рог и долины р. Объяснения (блоки 10, 11, 12).

Отмеченные блоки сложены верхне-нижнепермскими образованиями поспеловской свиты (преимущественно песчаниками и алевролитами косой слоистости с органическими остатками). Эти осадочные и вулканогенно-осадочные пачки, переслаивающиеся туфами и лавами андезитов, прорваны многочисленными экструзиями и штоками позднего мела (блоки 6, 7, 8 и частично 3). В пределах блоков 9 и 12 закартированы серии даек северо-восточного простирания (диорит-порфиров позднепермского возраста) [17].

В результате морфоструктурных исследований авторами были выделены три основных прибрежных участка вдоль берегов бухт Промежуточная, Тихая, Патрокл (по территориям которых проходит новая автомагистраль), потенциально опасных в отношении развития оползней, оплывин, промоин, просадок и других опасных геологических процессов, а также возможного пе-

реувлажнения грунтов (см. рис. 4). 12 июня 2012 г. в пределах одного из этих участков (вдоль бухты Тихая) в блоке 9 сошел оползень, а в сентябре того же года, но немного севернее произошел небольшой обвал и возникли селевые потоки, нарушившие соответствующий участок новой автомагистрали Седанка — Патрокл, что было широко освещено в средствах массовой информации. Последовавший срочный «косметический» ремонт дороги, по мнению авторов, не решил саму проблему, а уверения руководителей, что «все будет хорошо», могут иметь в будущем опасные геоэкологические последствия.

Остановимся только на очевидных с точки зрения авторов примерах недостаточного учета проектировщиками и строителями всей сложности комплекса инженерно-геологических и антропогенных условий строительства автомагистрали на участке побережья бухты Тихая. Судя по сообщениям средств массовой информации, «среди главных причин ЧП были названы отсутствие водоотводов и наличие родников под трассой, не выявленных во время изыскательских работ» [4]. Последние, руководствуясь общими правилами и логикой, обязаны были учитывать работы предшественников (А.И. Бурдэ, В.С. Рынков, и др.<sup>1</sup>), которые еще в 1961 г. закартировали здесь небольшие водотоки и овраги. Тот факт, что в последующем их засыпали, а местами и заасфальтировали, не означает, что соответствующие процессы прекратились. Просто они перешли из разряда поверхностных в скрытые подземные. Поскольку гидрологические данные в пре-



делах г. Владивостока действительно практически отсутствуют, в условиях недостатка информации и слабой инженерно-геологической изученности морфоструктурные построения авторов (в частности, результаты дешифрирования аэрофотоснимков и топокарт совместно с анализом имеющихся инженерно-геоморфологических и геологических материалов) показали, что вышеуказанные водотоки, родники и овраги, по видимому, заложены по небольшим разломам. Следовательно, особенности гидрогеологических условий связаны с ними, при этом водотоки и родники могут иметь как поверхностное, так и подземное питание. На их проявления наложены еще и техногенные факторы.

На рисунках 5, 6 показаны некоторые ландшафтные и геоморфологические признаки соответствующих геологических процессов и явлений, зафиксированные на точечных АФС в первые дни после ЧП, когда строители только начали их устранять. Отчетливо видно, что оползень охватил не только 150 м<sup>2</sup> обрушения дорожного откоса, ограниченного на проезжей части трещиной длиной 20 м и шириной 2 см, как было указано в СМИ [4]. На перспективном АФС видно, что зона проявления оползня совпадает с участком потенциальной

опасности развития экзогенных геологических процессов, отраженным авторами на морфоструктурной схеме вблизи узла разрывных нарушений общей площадью 2 км<sup>2</sup> (см. рис. 4). Кроме того, дешифрируется как само тело оползня (а), так и зоны относительно повышенных (б) и менее значительных (в, г) деформаций откоса (в основном промоины и просадки грунта) с обеих сторон моста (рис. 5). При этом насыпь автотрассы, а также (в меньшей степени) дорожная насыпь грунтовой дороги, ограничивающая водозаборный «ковш» ТЭЦ-2, выступают как своеобразные галереи водоупоров поверхностных и подземных гидродинамических потоков.

В результате авторами были сделаны следующие предварительные (поскольку специальные полевые исследования не проводились) выводы:

- возникновение оползня предопределено комплексом геологических факторов (энтодинамических, экзодинамических и технодинамических);
- потенциальная угроза проявлений опасных геологических процессов остается высокой и будет таковой в ближайшем будущем, если не провести дополнительных изысканий и укрепления дорожного участка;

<sup>1</sup> Указаны авторы источников из геологических фондов.



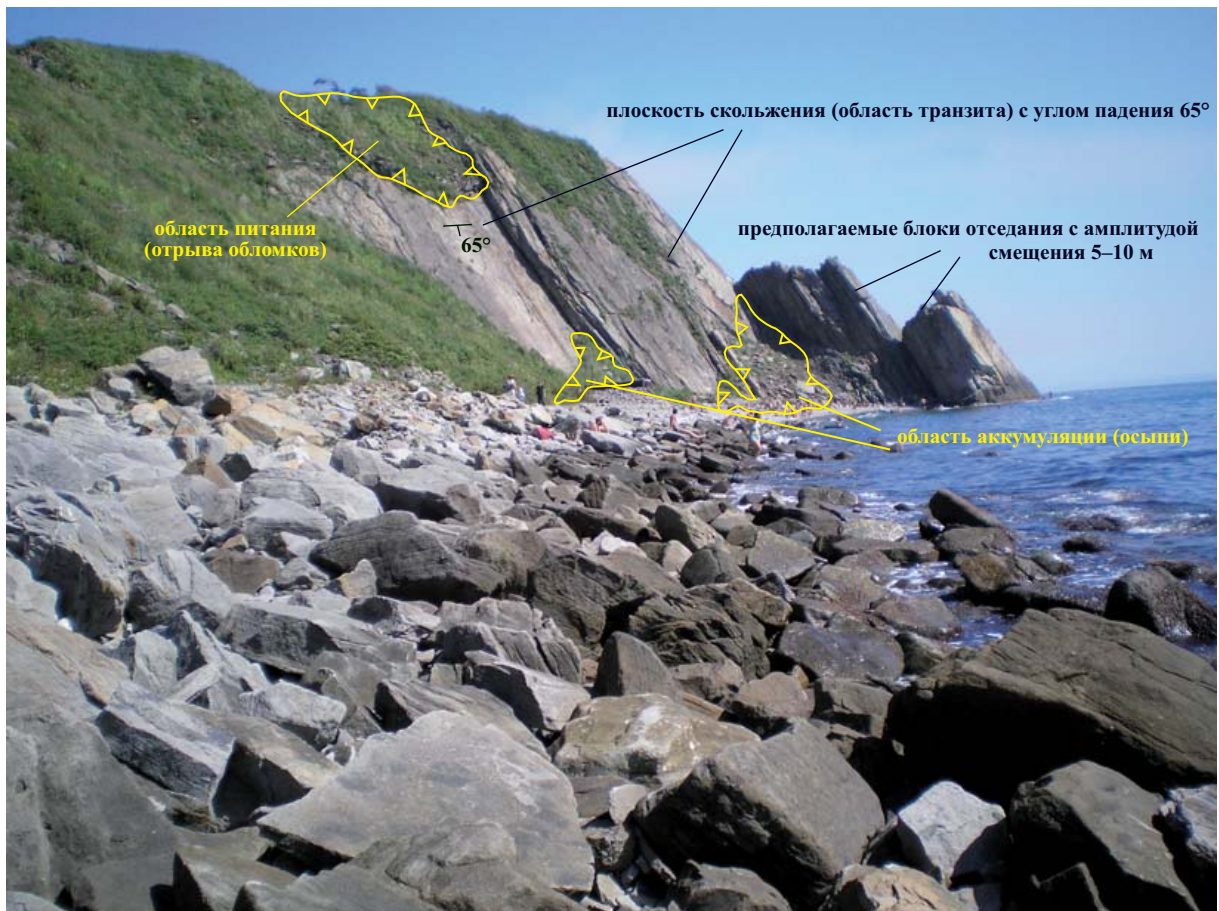


Рис. 6. Центральная часть оползня с наибольшей степенью деформаций грунта на участке автотрассы в районе бухты Тихая (фото А. Хитрова)

- примененные строителями новые технологии укрепления полотна габионными сетками (высота сборной стенки составила 30 м) в данном случае себя не оправдали — по-видимому следует установить анкеры или единую железобетонную подпорную стенку с обязательным дренажем;

- в сложившейся ситуации необходим эксплуатационный мониторинг опасных геологических процессов специалистами по инженерной геологии и геоморфологии.

Справедливости ради следует отметить, что подобные и другие нарушения как объектов АТЭС-2012, так и других сооружений, например объектов строящегося в настоящее время нового микрорайона в прибрежной зоне бухты Патрокл (см. блок 5 на рис. 4), отмечались ранее и будут происходить в будущем. Одной из основных причин ЧП (помимо ошибок проектировщиков и строителей) является сложность и специфика инженерно-геологических условий прибрежных зон п-ова Муравьева-Амурского. Например, автотрасса часто слишком приближена к береговой полосе, где бровка дорожного откоса вплотную стыкуется с крутой (до  $65\text{--}70^\circ$ ) стенкой скольжения по плоскостям напластования вулканогенно-осадочных толщ или разломов (рис. 7). В таких случаях смещение слабо связанных грунтов, отдельных глыб и блоков горных пород оказывается под воздействием не только гравитационных экзогенных геологических процессов, но и морского прилива и возможных цунами, что также может иметь опасные последствия инженерно-геологического и геоэкологического характера [5, 11, 14].



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:



Области концентрации ЭГП и аккумуляции отложений (с пояснениями)



$65^\circ$  Угол падения плоскостей скольжения

Рис. 7. Обвально-осыпной склон в зоне волноприбойного воздействия вблизи автотрассы в юго-западной части бухты Тихая (фото В.В. Коробова)



## Заключение

Проведенный анализ и экспресс-районирование типовых прибрежных зон полуострова Муравьева-Амурского позволяют сделать следующие выводы.


Прибрежные территории полуострова Муравьева-Амурского представляют собой области геодинамического воздействия глубинных разломных зон (разломов Муравьевский Западный, Муравьевский Восточный и Босфор Восточный). Они находятся в так называемых переходных зонах между основными высококоранговыми тектонопарами «поднятия (горст Муравьева-Амурского) — опускание (грабены Амурского и Уссурийского заливов, а также пролива Босфор Восточный)». При этом локальные морфоструктуры прибрежных зон наследуют не просто смежные структурно-геоморфологические элементы высококоранговых морфоструктур, а особенно те, которые оставались длительное время тектонически активными с зачастую разнонаправленными интенсивными движениями. В настоящее время они также развиваются в целом унаследованно.

Внутренняя инфраструктура прибрежных территорий образуется системой останцов (целиков), разделенных тектоническими понижениями. Последние почти полностью покрыты преимущественно линейными коврами выветривания, которые могут свидетельствовать о рассеянном типе растяжений. Интенсивность раздробленности пород в пределах целиков значительно слабее, чем в смежных понижениях. Именно такие зоны повышенной раздробленности и трещиноватости подвергаются наиболее интенсивной денудации с аномально высокими скоростями выноса материала.

Прибрежные зоны полуострова Муравьева-Амурского в основном испытывают тектоническое погружение, о чем свидетельствует, в частности, отсутствие высоких морских террас и активное разрастание смежных грабенообразных впадин. В осевых частях останцовых блоков возможны слабые компенсирующие восходящие движения.

На основании совместного анализа геоморфологических, геологических и антропогенных проявлений на морфоструктурной основе выделены локальные участки аномального развития обвалов, оползней и других опасных геологических процессов, а также участки возможного переувлажнения грунтов. Их размещение и характер проявлений контролируются прежде всего морфотектоническими факторами, а техногенные факторы их усиливают. Эти закономерности использованы при экспресс-районировании слабоизученных в инженерно-геологическом отношении урбанизированных территорий.

В дальнейшем, по мнению авторов, наиболее актуальным является детальный анализ процессов и явлений в пределах всех потенциально опасных участков в отношении эндо-, экзо- и технодинамического риска разрушения как отдельных объектов, так и в целом сложившейся инфраструктуры урбанизированных территорий.

Авторы данной статьи считают, что в методологическом плане перед детальным инженерно-геологическим районированием следует проводить комплексную геоморфологическую и геологическую оценку прибрежных зон на морфоструктурной основе, особенно в пределах слабоизученных урбанизированных территорий Дальневосточного региона. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакланов П.Я. Структурные особенности и стадии развития приморских территориально-акваториальных хозяйственных комплексов // Методологические проблемы комплексного хозяйственного освоения океана и прибрежных районов: материалы конференции «Экономика океана», Владивосток, 1978 г. Вып. 6. С. 25–27.
2. Карта оценки экологического состояния Владивостока. Масштаб 1:25 000 / под ред. А.И. Бурого. Владивосток: Дальнаука, 1995.
3. Кулаков А.П. Четвертичные береговые линии Охотского и Японского морей. Новосибирск, 1973. 187 с.
4. Кожин С. Габионовый скандал // Аргументы и факты. 2012. № 26. С. 5.
5. Короткий А.М., Коробов В.В. Районирование прибрежной зоны залива Петра Великого (Японское море) // Исследование и конструирование ландшафтов Дальнего Востока и Сибири. Владивосток: Дальнаука, 2005. Вып. 6. С. 128–158.
6. Кофф Г.Л., Фарафонов А.Э., Беккер А.Т., Аникеев В.В. Априорный анализ сейсмической уязвимости жилой застройки г. Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2008. 206 с.
7. Мясников Е.А. Геоэкология: комплексная геодинамическая опасность урбанизированных территорий Дальневосточного региона России // Инженерная экология. 2009. № 5. С. 3–21.
8. Мясников Е.А., Невский В.Н. Об эколого-геоморфологических условиях строительства объектов Азиатско-Тихоокеанского экономического саммита в г. Владивостоке // Экология урбанизированной территории. 2010. № 1. С. 45–50.
9. Овсюченко А.Н., Новиков С.С. Новые данные о сейсмической опасности района г. Владивостока по материалам геологических исследований // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: материалы Косыгинских чтений. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011. С. 417–420.
10. Окружающая среда и здоровье населения Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 1998. 216 с.
11. Олейников А.В., Олейников Н.А. Палеосейсмогеология. Владивосток: Дальнаука, 2009. 164 с.
12. Осипов В.И. Геоэкология — наука об экологических проблемах геосфер // Геоэкология. 1993. Т. 1. С. 4–18.
13. Свинухов В.Г. Экология атмосферы городов Приморского края. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 1997. 140 с.
14. Тащи С.М., Мясников Е.А. Геолого-геоморфологические системы территории агломерации Владивосток — Артем. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. 181 с.
15. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Современная парадигма геологии и теоретические задачи инженерной геологии // Геоэкология. 2000. № 2. С. 174–183.
16. Уфимцев Г.Ф., Онухов Ф.С., Тимофеев Д.А. Терминология структурной геоморфологии и неотектоники. М.: Наука, 1979. 255 с.
17. Geologic map of Vladivostok and its environs. Scale 1:125000 / edited by A. Khanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 1994.



# ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАСОМАТИТОВ СЕРПЕНТИНИТОВОЙ ФОРМАЦИИ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

## PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE SERPENTINITE FORMATION METASOMATITES OF THE BAZHENOVSKOYE CHRYSOTILE-ASBESTOS DEPOSIT

### АЛЕКСЕЕВ А.Ф.

Доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии  
Уральского государственного горного университета, к.г.-м.н.,  
г. Екатеринбург, Alekseev\_af@e1.ru

### ГРЯЗНОВ О.Н.

Заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и  
геоэкологии Уральского государственного горного университета,  
д.г.-м.н., профессор, г. Екатеринбург, Gryaznov.O@ursmu.ru

### ALEKSEEV A.F.

Associate professor of the department of hydrogeology, engineering geology  
and geoecology of the Ural State Mining University, PhD (candidate of  
science in Geology and Mineralogy), Yekaterinburg, Alekseev\_af@e1.ru

### GRYAZNOV O.N.

Head of the department of hydrogeology, engineering geology and  
geoecology of the Ural State Mining University, PhD (doctor of science in  
Geology and Mineralogy), professor, Yekaterinburg, Gryaznov.O@ursmu.ru

### Ключевые слова:

хризотил-асбест; серпентиниты; метасоматиты; перидотиты;  
физико-механические свойства; асбестоносность;  
Баженовское месторождение хризотил-асбеста.

### Key words:

chrysotile-asbestos; serpentinites; metasomatites; peridotites;  
physical-mechanical characteristics; asbestos content;  
Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit.

### Аннотация

**В статье рассмотрены основные черты геологии  
Баженовского месторождения хризотил-асбеста, степень  
серпентинизации перидотитов, типы серпентинитов по  
минеральному составу, типы асбестоносности, физико-  
механические свойства пород.**

Месторождения хризотил-асбеста, условия их образования и закономерности размещения изучены достаточно хорошо. Вместе с тем окolorудные серпентиниты и сопряженный с ними асбест впервые рассмотрены в качестве единой рудоносной метасоматической формации в монографии [3].

Серпентинизация — чрезвычайно широко распространенный процесс изменения ультраосновных пород складчатых областей независимо от их состава, происхождения и возраста. Петрогенетическим вопросам этой важной проблемы посвящено множество отечественных и зарубежных публикаций. Серпентинизация проявляется в двух видах — региональном и локальном. В первом случае она отражает ранние процессы регионального метаморфизма, во втором выступает как более поздний процесс около- и пострудного преобразования пород. Промышленно асбестоносными [6] являются высокомагнезиальные альпинотипные гипербазиты дунит-гарцбургитовой ассоциации (Баженовского, Джетыгаринского, Киембаевского месторождений) и отчасти умеренно магнезиальные породы пироксенит-перидотитового ряда (Мойвинского месторождения).

Все массивы альпинотипных гипербазитов (Кемпирсайский, Халиловский, Хабарнинский и др.) дунит-гарцбургитовой формации, располагаясь во внутренней части Уральской складчатой области, контролируются Главным уральским глубинным разломом первого порядка, проходящим по границе миогеосинклинальной и эвгеосинклинальной зон, и глубинными разломами второго порядка, разделяющими крупные тектонические структуры (Тагило-Магнитогорский прогиб и Восточно-Уральское поднятие, Восточно-Уральское поднятие и Восточно-Уральский прогиб). На стыках региональных поднятий и прогибов масси-

### Abstract

**The article considers the main geological features of the  
Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit, the  
serpentinization degree of the peridotites, types of the  
serpentinites by the mineral composition, types of the asbestos  
content, physical-mechanical characteristics of the rocks.**



вы образуют пояса протяженностью в сотни километров. Примерами могут служить Серовско-Невьянский (Восточно-Тагильский массив и др.), Асбестовско-Алапаевский (Алапаевский, Режевской, Баженовский массивы), Полтавско-Киембайский (Киембайский массив и др.) и Джетыгаринско-Аккаргинский (Джетыгаринский массив и др.) пояса [4].

Размещение месторождений хризотил-асбеста определяется вещественным составом ультраосновных пород и геолого-тектонической позицией массивов. Среди гипербазитов Урала преобладают перидотиты типа гарцбургитов. Месторождения хризотил-асбеста локализуются в гарцбургитовых, дунит-гарцбургитовых или пироксенит-гарцбургитовых массивах при воздействии на них гранитоидов. Под влиянием геосинклинальных гранитоидов базальтоидного происхождения образуются средние и мелкие месторождения баженовского и лапинского подтипов, а при воздействии орогенных сиалических гранитоидов — крупные и уникальные месторождения хризотил-асбеста баженовского подтипа. При этом месторождения формируются на уровне апикальных и

средних частей массивов гранитоидов. Асбестообразование происходит в результате воздействия на гарцбургиты постмагматических растворов. Выделяют три возрастные группы месторождений хризотил-асбеста в ультраосновных породах дунит-гарцбургитовой формации Урала: позднесилурийскую — раннедевонскую (425–380 млн лет), позднедевонскую — раннетурнейскую (380–345 млн лет) и позднепалеозойскую (320–260 млн лет). Баженовское, Джетыгаринское, Киембайское и другие месторождения относятся к третьей группе.

**Баженовское месторождение** приурочено к восточному эндоконтакту одноименного массива ультраосновных пород, прорванных интрузивом верхнепалеозойских гранитов. На месторождении выделено 36 крупных залежей. Их длина по простиранию варьирует от 20 м до 4,5 км при изменении мощности от 40 м до 1,4 км. В плане их форма неправильная, эллипсоидная или линзообразная; в вертикальном разрезе — трубовидная или чашеобразная (для эродированных тел). Залежи характеризуются зональным строением (рис. 1). В центре располагается ядро неасбестоносных серпентинизиро-

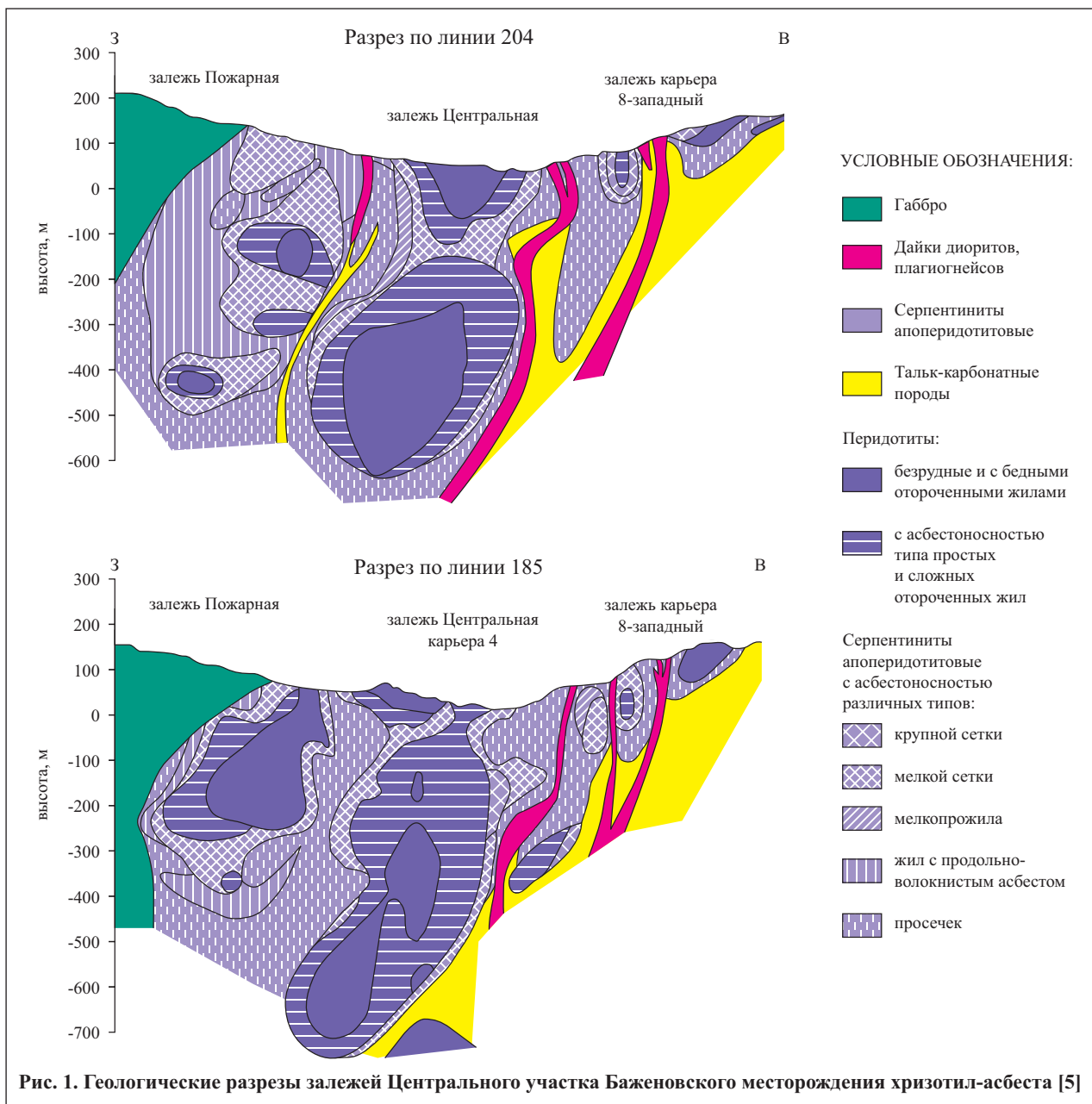


Рис. 1. Геологические разрезы залежей Центрального участка Баженовского месторождения хризотил-асбеста [5]

ванных пироксеновых дунитов или перидотитов, а при их отсутствии — перидотитов с отороченными жилами асбеста. От ядра к периферии прослеживается смена типов асбестоносности: отороченные жилы, крупная и мелкая сетка, мелкопрожилок, серпентиниты с просечками поперечно- и продольно-волокнистого асбеста. Далее следуют рассланцованные серпентиниты и дайки гранитоидов. Последние фиксируют зоны рудоконтролирующих разломов. Встречаются залежи с асбестоносностью одного-двух типов [2, 5].

Хризотил-асбест развивается по регионально серпентинизированным гипербазитам при различной интенсивности дорудного изменения пород и сопровождается локальной околожильной (околорудной) серпентинизацией.

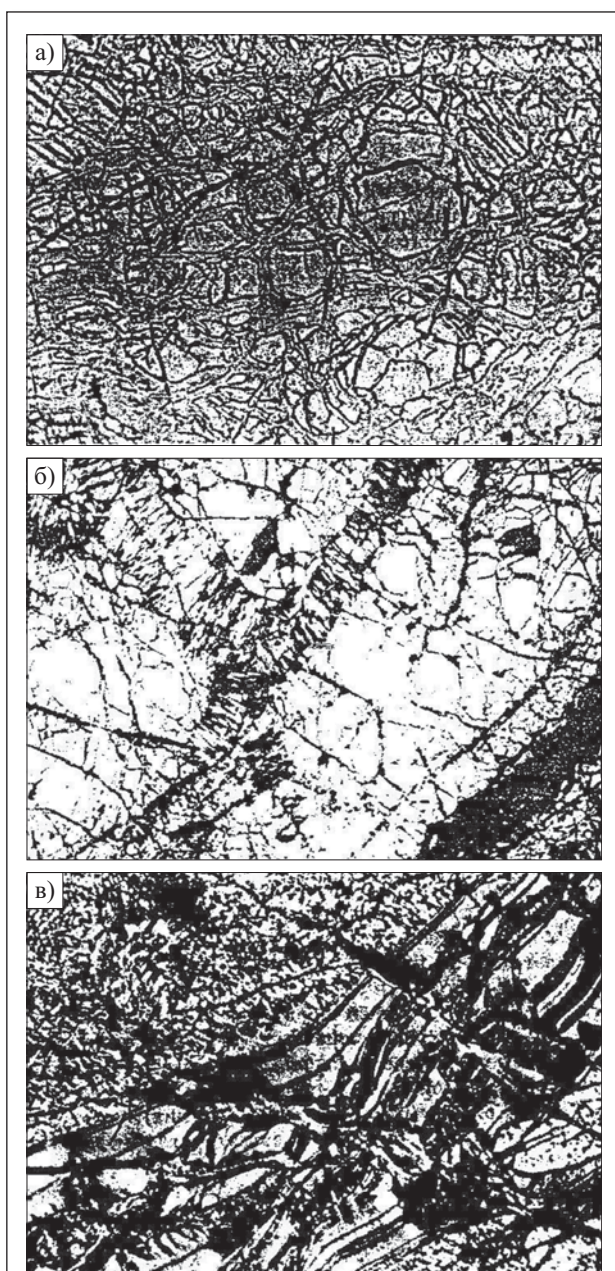


Рис. 2. Замещение оливина петельчатым лизардитом (а), гребенчатым антигоритом (б) при зеленокаменном метаморфизме и развитие ленточного лизардита при зеленосланцевом метаморфизме гипербазитов (в). Увеличение 30 (а — без анализатора; б, в — с анализатором)

*Региональная (дорудная) серпентинизация ультраосновных пород* проявляется на ранних этапах развития складчатых зон. Массовое преобразование ультраосновных пород происходит в период их внедрения в земную кору и по времени совпадает с рифтогенно-геосинклинальной стадией развития подвижных поясов и становлением в земной коре пород офиолитовой ассоциации. Метаморфизм ультраосновных пород этой стадии выражается в их равномерной первичной петельчатой серпентинизации. Эта первичная петельчатая серпентинизация отождествляется авторами с зеленокаменным типом регионального метаморфизма и впервые подробно описана в специальной монографии [7].

В зонах зеленокаменного перерождения гипербазиты подвергаются петельчатой лизардитизации, частично и реже — первичной антигоритизации. Такая ранняя серпентинизация характеризуется прежде всего своей незавершенностью, что выражается в частичном замещении главных породообразующих минералов (в основном оливина, так как пироксен на этой стадии метаморфизма более устойчив к явлениям серпентинизации) петельчатым лизардитом и гребенчатым антигоритом (рис. 2). В результате в таких частично лизардитизированных и антигоритизированных серпентинитах хорошо сохраняются первичные структуры и текстуры исходных материнских пород. Второй особенностью описываемой серпентинизации является отсутствие в породах магнетита, свойственного продуктам более поздних стадий преобразования гипербазитов.

*Локальная серпентинизация* относится к околорудному метасоматозу (по Д.С. Коржинскому) и выступает в качестве рудообразующего процесса, с которым генетически связано формирование хризотил-асбеста. Она развивается в прогрессивных условиях среднетемпературного метасоматоза при воздействии постмагматических растворов на регионально серпентинизированные гипербазиты. Первично серпентинизированные породы при этом перекристаллизуются с образованием лизардита-2, а затем хризотила и микроантигорита. Лизардитизация сопровождается выделением магнетита. Одновременно с хризотилизацией пород происходило переотложение выщелоченных компонентов и образование в трещинах жил хризотил-асбеста (рис. 3). Между мощностью жил и шириной серпентинитовых оторочек устанавливаются определенные соотношения, зависящие от состава первичных гипербазитов, степени их дорудного преобразования и интенсивности «рудной» хризотилизации. Конечный результат серпентинизации гипербазитов — возникновение пострудного антигорита. Основываясь на петрографической характеристике серпентинитов, метасоматическую колонку гидротермальной серпентинизации с хризотил-асбестом по автосерпентинизированному гарцбургиту можно представить в следующем виде: оливин, лизардит-1, антигорит-1, бастит, хромшпинелид — лизардит-2, магнетит — хризотил, антигорит-2, магнетит — хризотил-асбест, магнетит [3]. Серпентинизация осуществляется под воздействием растворов с температурой ниже 370 °С при варьирующем давлении воды и рН раствора. Дорудная лизардитизация и хризотилизация вызываются слабокислыми растворами, а отложения хризотил-асбеста — слабощелочными.

Изучение физико-механических свойств гипербазитов в зависимости от степени и минерального типа сер-



пентинизации на примере перидотитов Баженовского месторождения выявило интересные закономерности.

Общее количество проб перидотитов составило 147, серпентинитов — 145. По степени серпентинизации перидотиты разделены на три группы — слабо-, средне- и сильносерпентинизированные. На первую группу (до 30% серпентиновых минералов по объему) пришлось 69 проб, на вторую (30–70%) — 49, на третью (более 70%) — 29. Минимальные, максимальные и средние значения показателей физико-механических свойств трех групп перидотитов и серпентинитов приведены в таблице. Ее анализ свидетельствует, что с увеличением степени серпентинизации перидотитов происходит снижение средних значений плотности, коэффициента крепости, предела прочности на сжатие, скорости продольных волн и модуля упругости при одновременном увеличении пористости и водопоглощения.

Физико-механические свойства перидотитов наряду со степенью серпентинизации зависят также от минерального типа серпентинизации, т.е. от состава и свойств серпентиновых минералов (рис. 4). В направлении «антигоритовые — лизардитовые — хризотилитовые серпентиниты» (через смешанные разности) уменьшаются плотность, коэффициент крепости, предел прочности на сжатие, скорость продольных волн, модуль упругости и увеличивается водопоглощение пород.

В процессе региональной и локальной (гидротермально-метасоматической) серпентинизации перидотитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста происходит последовательная перестройка структур горных пород, что отражается на их физико-механических свойствах. На раннем этапе серпентинизации гипидиоморфнозернистая структура перидотита трансформируется в мелкопетельчатую в связи с замещением оливина лизардитом первой генерации. Это приводит к снижению плотности и модуля упругости. При замещении лизардита-1 антигоритом первой генерации мелкопетельчатая структура

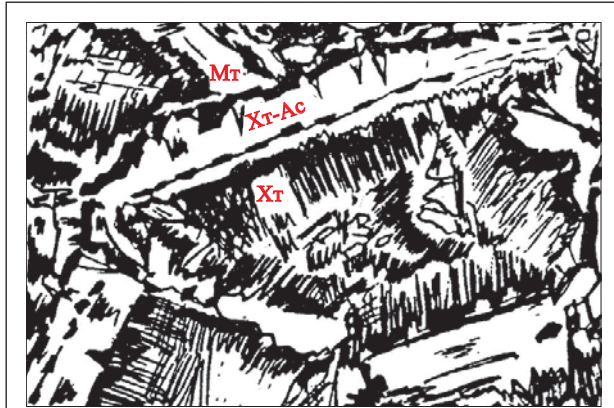


Рис. 3. Характер развития волокнистого хризотила (Хт) в зальбандах прожилков хризотил-асбеста (Хт-Ас). Зарисовка шлифа (увеличение 50). Мт — магнетит

перекристаллизовывается в крупнопетельчатую (решетчатую). Это обуславливает повышение плотности и модуля упругости у антигоритизированных серпентинитов.

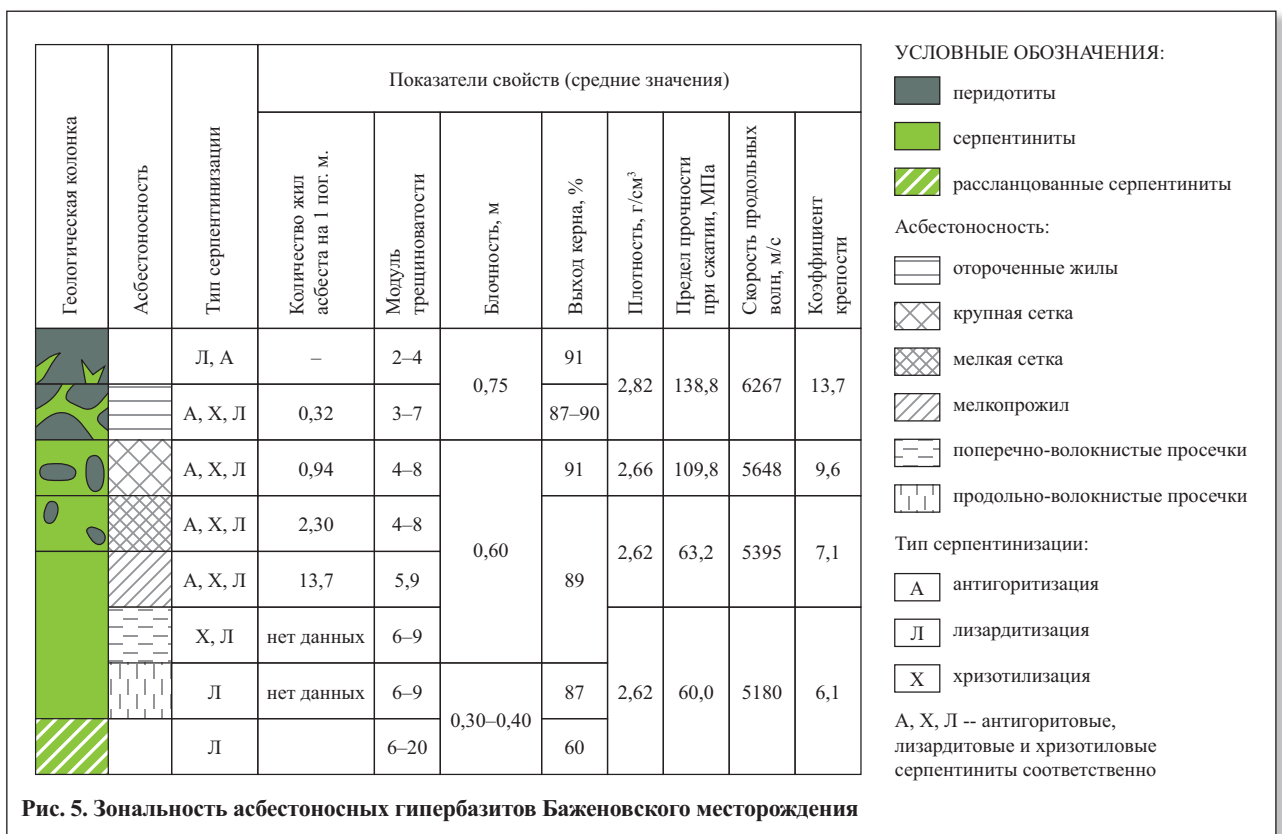
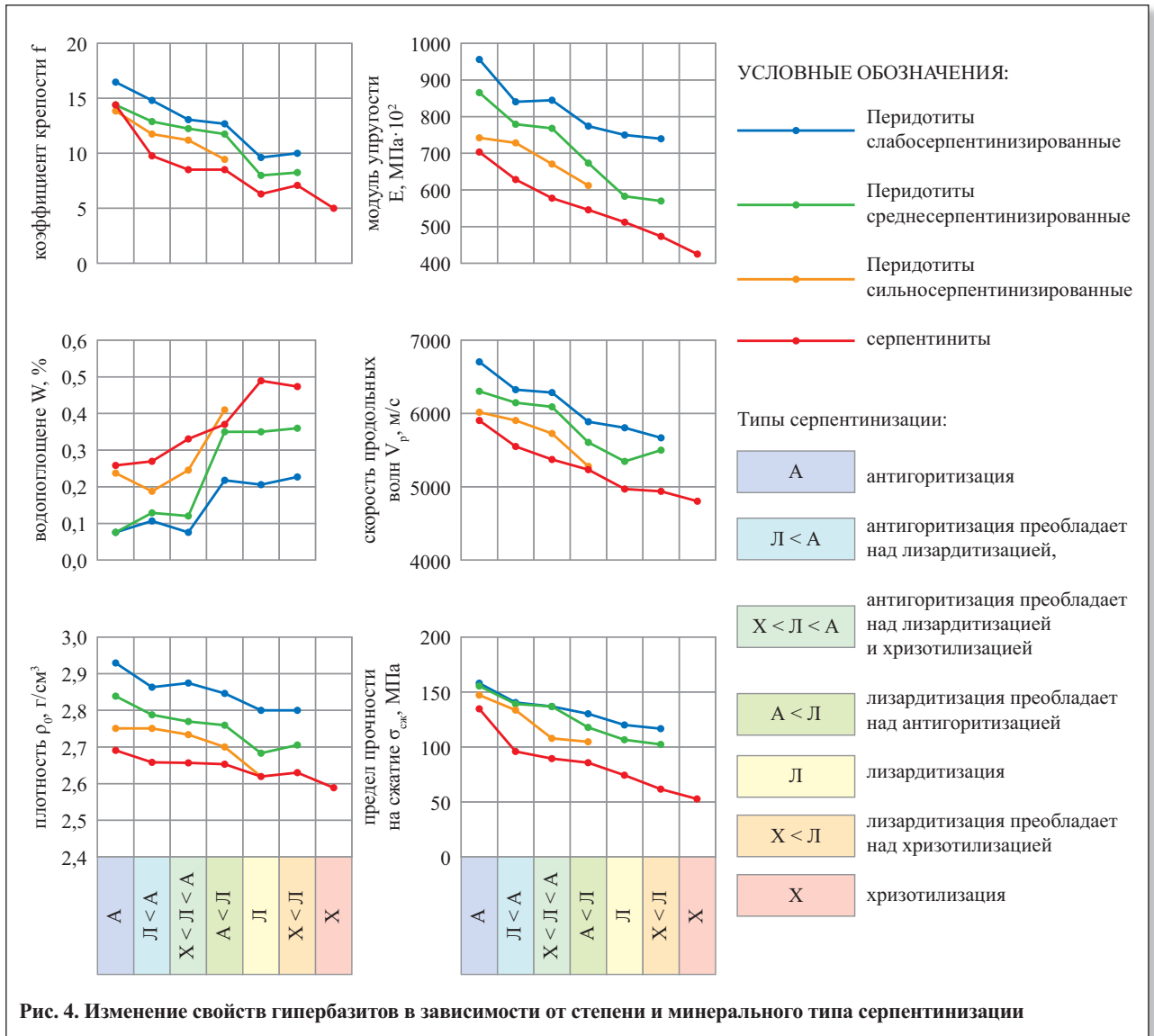
На этапе гидротермально-метасоматической серпентинизации пластинчатый лизардит второй генерации замещает реликты первичных минералов, что приводит к снижению показателей плотностных и механических свойств серпентинитов. На стадии прогрессивного метасоматоза петельчато-пластинчатые, решетчатые и другие структуры лизардита-1 и -2, антигорита-1 сменяются игольчатыми, лейстовидными, брусчатыми структурами антигорита второй генерации. Перекристаллизация сопровождается уплотнением пород и повышением прочности вновь образованных антигоритовых серпентинитов.

Конечным результатом процесса гидротермально-метасоматической серпентинизации является кристаллизация хризотил-асбеста вследствие переотложения компонентов, выщелоченных при антигоритизации-лизардитизации-хризотилизации перидотитов в трещин-

Таблица

| Изменения физико-механических свойств перидотитов в зависимости от степени серпентинизации |   |                        |                               |       |      |                   |                  |                     |             |                           |                  |
|--|---|------------------------|-------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|---------------------|-------------|---------------------------|------------------|
| Группа пород   | Количество серпентиновых минералов по объему, % | Индекс серпентинизации | Физико-механические свойства* |       |      |                   |                  |                     |             |                           |                  |
|  |   |                        | $\rho$ , г/см <sup>3</sup>    | n, %  | W, % | $f_{кр}$ без-разм | $\sigma_p$ , МПа | $\sigma_{сж}$ , МПа | $V_p$ , м/с | $E$ , МПа×10 <sup>2</sup> | $\mu$ , без-разм |
| Слабосерпентинизированные перидотиты   | <30   | I                      | 2,73                          | 0,34  | 0,01 | 6,7               | 8,7              | 67,9                | 5184        | 623,6                     | 0,21             |
|  |   |                        | 3,02                          | 3,32  | 0,41 | 25,0              | 32,4             | 192,7               | 7250        | 1138,0                    | 0,32             |
|  |   |                        | 2,86                          | 1,11  | 0,14 | 13,2              | 19,4             | 136,0               | 6187        | 824,7                     | 0,29             |
|  |   |                        | (65)                          | (53)  | (43) | (51)              | (46)             | (62)                | (63)        | (53)                      | (51)             |
| Среднесерпентинизированные перидотиты  | 30–70   | II                     | 2,64                          | 0,69  | 0,03 | 6,0               | 9,1              | 75,0                | 4810        | 465,5                     | 0,27             |
|  |   |                        | 2,89                          | 3,65  | 0,50 | 23,6              | 42,8             | 196,6               | 6673        | 951,3                     | 0,34             |
|  |   |                        | 2,77                          | 1,49  | 0,16 | 12,0              | 20,5             | 132,8               | 5956        | 733,4                     | 0,30             |
|  |   |                        | (46)                          | (30)  | (25) | (45)              | (28)             | (48)                | (42)        | (33)                      | (33)             |
| Сильносерпентинизированные перидотиты  | 70–100  | III                    | 2,58                          | 0,70  | 0,08 | 7,5               | 14,5             | 86,0                | 4270        | 500,0                     | 0,25             |
|  |   |                        | 2,88                          | 3,27  | 0,73 | 26,3              | 30,6             | 191,9               | 6314        | 879,7                     | 0,34             |
|  |   |                        | 2,72                          | 1,57  | 0,26 | 11,9              | 19,3             | 126,1               | 5652        | 669,1                     | 0,301            |
|  |   |                        | (27)                          | (20)  | (19) | (22)              | (16)             | (20)                | (26)        | (21)                      | (21)             |
| Серпентиниты (оливин и пироксен отсутствуют)   | 100   | IV                     | 2,45                          | 0,38  | 0,03 | 3,3               | 5,5              | 7,7                 | 2818        | 451,6                     | 0,19             |
|  |   |                        | 3,02                          | 7,69  | 1,85 | 22,9              | 38,1             | 235,5               | 6690        | 850,2                     | 0,37             |
|  |   |                        | 2,65                          | 1,74  | 0,36 | 8,9               | 14,1             | 83,0                | 5279        | 641,2                     | 0,30             |
|  |   |                        | (144)                         | (112) | (70) | (126)             | (81)             | (112)               | (99)        | (23)                      | (23)             |

\*  $\rho$  — плотность (объемная масса); n — общая пористость; W — водопоглощение;  $f_{кр}$  — коэффициент крепости;  $\sigma_{сж}$  — предел прочности при сжатии;  $\sigma_p$  — предел прочности при растяжении;  $V_p$  — скорость продольных волн; E — динамический модуль упругости;  $\mu$  — коэффициент Пуассона. В ячейках для всех показателей сверху вниз указаны минимальное, максимальное и среднее значения, в скобках — количество определений.





ных структурах (разломах, зонах разномасштабной трещиноватости). При этом различные типы асбестоносности локализуются в различных минеральных типах серпентинитов — антигорит-хризотил-лизардитовых, хризотил-лизардитовых и лизардитовых. Показатели физико-механических свойств уменьшаются от первого к последнему типу асбестоносности (рис. 5).

Отметим, что результаты изучения прочностных характеристик хризотил-асбеста по удельному сцеплению ( $C$ ) и углу внутреннего трения ( $\phi$ ) свидетельствуют о более высокой прочности поперечноволоконистого асбеста по сравнению с продольноволокнистым [1].

## Выводы


1. Баженовское месторождение хризотил-асбеста образовалось при воздействии постраничных гидротермальных растворов на регионально серпентинизированные гипербазиты.

2. Развитие хризотил-асбеста в трещинных структурах перидотитов обусловлено переотложением компонентов, выщелоченных при локальной гидротермально-метасоматической (околожильной) серпентинизации.

3. Асбестовые залежи построены зонально. От регионально серпентинизированных перидотитов к серпентинитам регистрируется смена типов асбестоносности: отороченные жилы в перидотитах — крупная сетка — мелкая сетка — мелкопрожил — поперечноволоконистые и продольноволокнистые прожилки в серпентинитах.

4. Различные типы асбестоносности локализуются в различных минеральных типах серпентинитов — антигорит-хризотил-лизардитовых, хризотил-лизардитовых и лизардитовых.

5. Показатели физико-механических свойств уменьшаются в направлении «регионально серпентинизированные перидотиты — слабосерпентинизированные перидотиты — среднесерпентинизированные перидотиты — сильносерпентинизированные перидотиты — серпентиниты», а также в направлении от первого к последнему типу асбестоносности (по зональности тел).

6. Более высокими показателями прочности ( $C$ ,  $\phi$ ) характеризуются поперечноволоконистые хризотил-асбесты по сравнению с продольноволокнистыми. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Ф.* Методика и результаты испытаний на сдвиг по прожилкам хризотил-асбеста // Известия вузов. Горный журнал. 1987. № 6. С. 9–12.
2. Вопросы методики поисков, разведки и промышленной оценки месторождений хризотил-асбеста: методические рекомендации. Свердловск: Изд-во УТГУ Мингео РСФСР, 1976.
3. *Грязнов О.Н.* Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 253 с.
4. *Золоев К.К.* Месторождения хризотил-асбеста в гипербазитах складчатых поясов. М.: Недра, 1975.
5. *Золоев К.К. и др.* Баженовское месторождение хризотил-асбеста: монография / под ред. К.К. Золоева, Б.А. Попова. М.: Недра, 1985. 271 с.
6. *Золоев К.К., Ранопорт М.С., Попов Б.А. и др.* Геологическое развитие и металлогения Урала. М.: Недра, 1981. 256 с.
7. *Кейльман Г.А., Золоев К.К.* Изучение метаморфических комплексов. М.: Недра, 1989. 207 с.

**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**  
**GeoRisk**

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



# ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОТ СТЕПЕНИ ИХ НЕОДНОРОДНОСТИ

## DEPENDENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS ON THE DEGREE OF THEIR HETEROGENEITY

**ТЕР-МАРТИРОСЯН З.Г.**

*Заведующий кафедрой механики грунтов и геотехники (МГГ) Московского государственного строительного университета (МГСУ), д.т.н., профессор, г. Москва, mgroif@mail.ru*

**МИРНЫЙ А.Ю.**

*Старший преподаватель кафедры механики грунтов и геотехники (МГГ), научный сотрудник НОЦ «Геотехника» МГСУ, г. Москва, reg@oconnor.ru*

**TER-MARTIROSIAN Z.G.**

*The head of the department of soil mechanics and geotechnics of the Moscow State University of Civil Engineering, PhD (doctor of science in Technics), professor, Moscow, mgroif@mail.ru*

**MIRNIY A.YU.**

*Senior lecturer of the department of soil mechanics and geotechnics of the Moscow State University of Civil Engineering, scientific associate of the «Geotechnics» Research and Educational Center, Moscow, reg@oconnor.ru*

### **Ключевые слова:**

*гранулометрический состав; классификация грунтов; механические свойства оснований.*

### **Key words:**

*granulometric composition; soil classification; mechanical properties of ground bases.*

### **Аннотация**

**В статье приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований механических свойств неоднородных грунтов. Описываются механизмы формирования напряженно-деформированного состояния при различных комбинациях компонентов грунта. Предлагается методика прогнозирования механических свойств естественных и искусственных оснований исходя из данных об их гранулометрическом составе. Приводится классификация грунтов по степени их неоднородности. Рассматривается зависимость модуля деформации от гранулометрического состава и плотности.**

### **Введение**

Неоднородные по гранулометрическому составу и строению грунты естественного и искусственного происхождения часто используются в качестве оснований и материалов для создания сооружений (подушек, насыпей, дамб, плотин и пр.), однако в настоящее время не существует методов определения их механических свойств.

Известно, что механические свойства грунтовой среды существенно зависят от ее гранулометрического и минералогического состава. В неоднородных грунтах влияние гранулометрического состава существеннее, и его необходимо учитывать при определении их механических свойств. Очевидно, что в зависимости от степени неоднородности и процентного содержания фракций крупнее 2 мм могут формироваться разные структуры, которые определяют механические свойства неоднородного грунта. Взаимодействие между крупными и мелкими фракциями в таком грунте существенно зависит от его структуры.

Очевидно, что при воздействии внешней нагрузки взаимодействия между крупными и мелкими фракциями в представленных на рис. 1, а и 1, б структурах существенно различаются и, следовательно, они по-разному сопротивляются объемным изменениям и формоизменениям.

Количественная оценка свойств эквивалентной гомогенной среды является одной из важных задач теоретической и прикладной механики неоднородных грунтов. Она может быть осуществлена на основе экспериментальных и теоретических исследований, а также виртуальных экспериментов путем численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) неоднородного грунта в условиях компрессии, трехосного сжатия и др. Неоднородность грунтов вызывает неоднородность НДС в любом плоском сечении грунта, обусловленную концентрацией и декон-

### **Abstract**

**The article presents results of experimental and theoretical investigations of mechanical properties of heterogeneous soils. The mechanisms of stress-strain state formation at various combinations of soil components are described. A technique of prediction of mechanical properties of natural and artificial ground bases on the basis of their granulometric composition data is suggested. A classification of soils according to their heterogeneity degree is presented. Dependence of the deformation modulus on the granulometric composition and density is considered.**



центрацией напряжений вокруг твердых включений, пустот или дефектов структуры.

Первая попытка количественной оценки НДС двухкомпонентного грунта была сделана К. Терцаги в 1923 г. Она позволила ему разделить общее напряжение между скелетом и поровой водой без учета сжимаемости последней. Учет сжимаемости поровой воды и ползучести скелета при их взаимодействии для описания грунта привел к качественно новым результатам [8]. В работах С.С. Вялова и его сотрудников [1] было показано, что деформации глинистого грунта могут привести к неоднородному НДС и его развитию в пространстве и времени вплоть до разрушения. Учету неоднородности гранулометрического состава и строения дисперсного и скального грунта посвящены работы З.Г. Тер-Мартirosяна, С.Б. Ухова и др. [8, 9]. В работе Кристенсена Р. [10] приводится математическое описание НДС композитов, которое позволяет определить их эквивалентные характеристики.

Настоящая работа посвящена экспериментально-теоретическим исследованиям механических свойств неоднородных грунтов, на основе которых рекомендованы методы количественной оценки их эквивалентных характеристик с учетом известных характеристик их составных частей в целом. Кроме того, анализ выполненных исследований позволил авторам составить классификацию неоднородных грунтов, используя треугольник Ферре, и на этой основе составить номограмму для определения их модулей деформации в зависимости от гранулометрического состава и плотности.

**Экспериментальные исследования**

На рисунке 2 приводятся результаты испытаний неоднородных грунтов в условиях компрессионного и трехосного сжатия при различной степени их неоднородности в виде зависимостей « $\sigma - \epsilon$ », где  $\sigma$  — уплотняющая нагрузка, кПа;  $\epsilon$  — относительная деформация, д.ед.

Анализ смеси песчаных грунтов показал, что неоднородность их гранулометрического состава оказывает существенное влияние на деформационные и прочностные свойства. Обработка результатов более чем 90 испытаний образцов песчаного грунта в условиях компрессионного и трехосного сжатия методами математической статистики показала, что коэффициент неоднородности влияет на модуль деформации и угол внутреннего трения.

Модуль деформации увеличивается пропорционально процентному содержанию включений, что объясняется большей жесткостью включений и их армирующим действием. При этом наибольшая его величина наблюдается при 30% включений от общего объема, что объясняется более устойчивой структурой грунта, в которой мелкие частицы препятствуют перекомповке крупных включений.

Угол внутреннего трения снижается с ростом содержания включений, что объясняется концентрацией напряжений на контактах между включениями и более ранним переходом вмещающего грунта в предельное состояние. Однако из анализа экспериментальных данных видно, что при введении включений ярко проявляется пиковая и остаточная прочность. Это может быть связано с тем, что жесткие включения большого размера пре-

пятствуют образованию поверхностей скольжения и увеличивают пиковую прочность, однако после образования таких поверхностей скольжение идет уже по вмещающему грунту и остаточная прочность не меняется.

**Математическое моделирование НДС неоднородного грунта с помощью виртуального эксперимента**

Виртуальные эксперименты позволяют существенно упростить исследования механических свойств неоднородных грунтов с любыми коэффициентами неоднородности и соотношениями механических свойств составных частей вмещающего грунта и заполнителя (рис. 3).

Как и следовало ожидать, образцы (модели) с включениями (кривые 2, 3 на рис. 4) показали меньшую деформацию, чем образец сплошного вмещающего грунта (кривая 1 на рис. 4). Это обусловлено армирующим эффектом крупных фракций и их высокой жесткостью по отношению к сравнительно слабому вмещающему грунту. Кривые 4 и 5 на рисунке 4 соответствуют случаю, когда в однородном грунте имеются пустоты крупного размера, которые при определенной нагрузке «схлопываются», при этом деформации интенсивно возрастают при неизменной нагрузке. Отме-

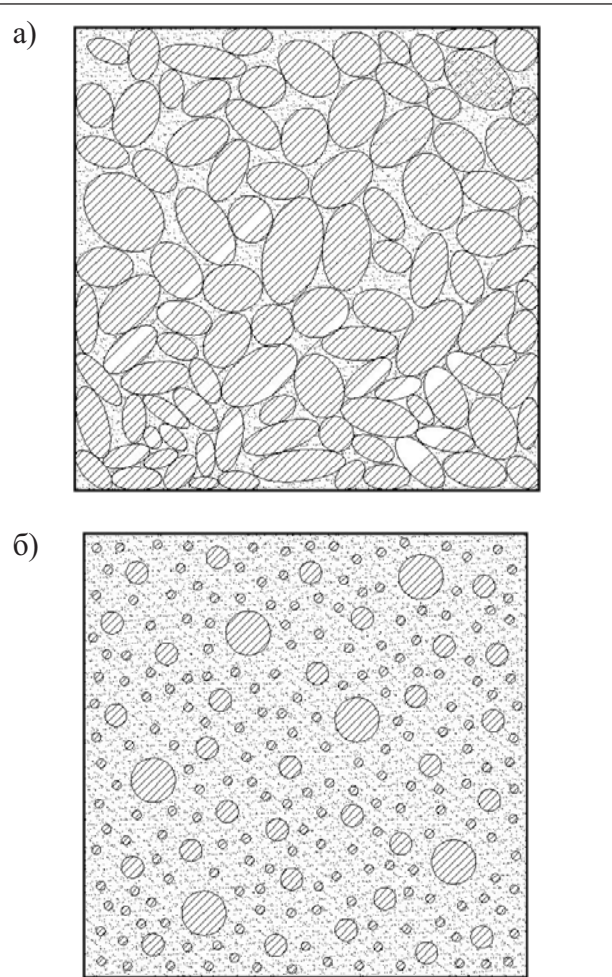
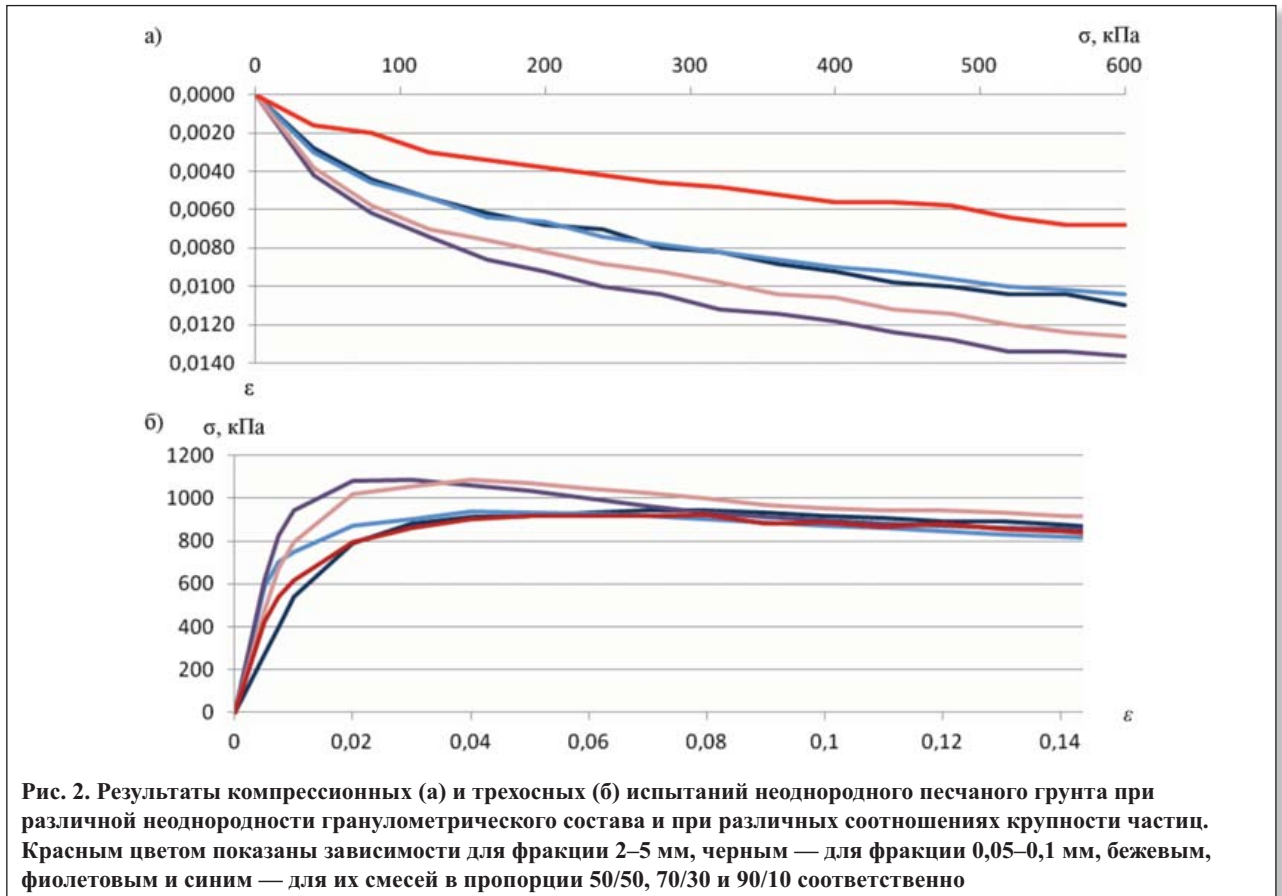


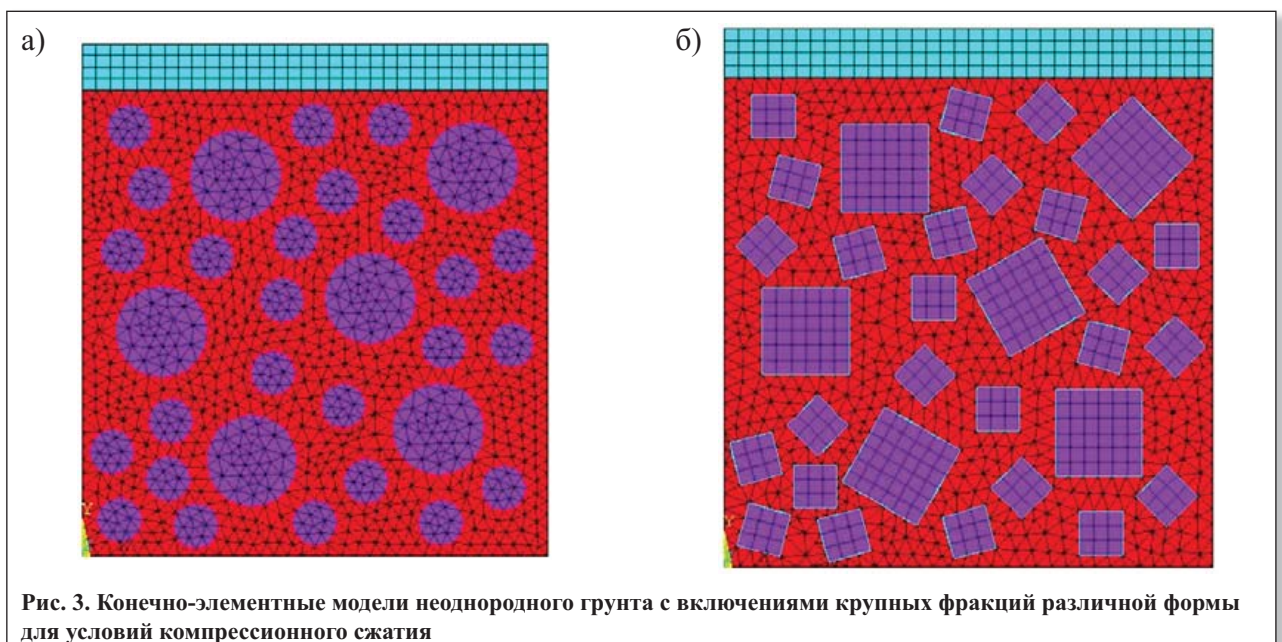
Рис. 1. Схематическое представление структуры неоднородных грунтов: а — крупнообломочного грунта с мелкозернистым заполнителем; б — мелкозернистого грунта с отдельными включениями крупных фракций (крупнее 2 мм)



тим, что в случае пор квадратной формы арочный эффект на начальном этапе нагружения проявляется слабее и интенсивность деформаций в предельном состоянии выше, чем в случае пор круглой формы.

Виртуальные испытания образцов неоднородного грунта (см. рис. 3) проводились в условиях простого сдвига (перекашивания до достижения угловой деформации  $\gamma = 0,12 \div 0,15$ ). Из результатов испытаний, представленных на рис. 5, следует, что сопротивление образца с круглыми включениями (кривая 2) больше, чем у однородного (кривая 1), но меньше, чем у образца с включениями квадратной формы (кривая 3).

Анализ виртуальных экспериментов в условиях компрессионного сжатия и простого сдвига показал, что напряженно-деформированное состояние неоднородного образца также является неоднородным, имеющим экстремальные значения напряжений вокруг крупных включений конечной жесткости и пустот различной формы. Кроме того, крупные включения угловатой формы влияют на деформируемость и сопротивление сдвигу больше, чем включения круглой формы. Жесткость крупных фракций также оказывает существенное влияние, которое зависит от соотношения жесткости крупных включений и вмещающего сравнительно однород-





ного грунта и может привести к армированию вмещающего грунта при  $E_1 < E_2$  и к расслаблению при  $E_1 > E_2$ , особенно при  $E_2 \rightarrow 0$  (где  $E_1, E_2$  — модули деформации вмещающего грунта и включений соответственно).

Численный метод анализа виртуальных экспериментов неоднородного образца грунта можно распространить также на случай штамповых испытаний. Выполненный виртуальный эксперимент со штампом в условиях плоской задачи показал, что контактные напряжения неоднородны и имеют многочисленные пики на контактах с крупными включениями, причем огибающая контактных напряжений по средним значениям имеет седлообразную форму, что соответствует решению для однородного грунта. Кроме того, изополя компонентов напряжений и деформаций в основании штампа для неоднородных грунтов качественно соответствуют изополям для однородных грунтов. Однако осадки штампов различаются пропорционально разнице модулей деформации однородного (вмещающего) и неоднородного грунта. Следовательно, для проектирования оснований и грунтовых сооружений из неоднородных грунтов можно использовать теорию линейно деформируемой среды. Поэтому определение эквивалентного модуля деформации и прочностных характеристик имеет важное практическое значение.

### Определение эквивалентных характеристик неоднородных грунтов аналитическим методом

Количественная оценка эквивалентных характеристик неоднородных грунтов на основе теории линейно деформируемых сред возможна при определенных допущениях и предположениях и при определенных структурах.

Рассмотрим структуру неоднородного грунта типа представленной на рис. 1, а. Обозначим модули объемной и сдвиговой деформаций скелета из крупнообломочного грунта соответственно  $K_1$  и  $G_2$ , заполнителя —  $K_2$  и  $G_2$ , эквивалентного гомогенного грунта (в целом) —  $K$  и  $G$ . Среднее действующее на эквивалентный гомогенный грунт напряжение  $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$  (где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  — главные напряжения) представим как сумму средних значений, действующих на скелет ( $\bar{\sigma}_1$ ) и на заполнитель ( $\bar{\sigma}_2$ ), т.е.  $\sigma = \bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2$ . Относительные объемные деформации грунта в целом ( $\varepsilon$ ), скелета грунта ( $\varepsilon_1$ ) и заполнителя ( $\varepsilon_2$ ) связаны между собой известной зависимостью вида  $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \cdot n_1$ , где  $n_1$  — пористость скелета грунта. Учитывая, что объемные деформации каждого из составляющих элементов определяются зависимостью вида  $\varepsilon = \sigma/K$ , а также принимая во внимание исходные уравнения, получаем:

$$K = K_1 + K_2/n_1 \tag{1}$$

причем  $\bar{\sigma}_1 = \sigma K_1/K$ ;  $\bar{\sigma}_2 = \sigma K_2/K n_1$

Очевидно, что при  $K_2 \rightarrow 0$  будет выполняться равенство  $K = K_1$ , что соответствует случаю модуля деформации крупнообломочного грунта без заполнителя. Для оценки влияния заполнителя пор можно принять, например,  $K_1 = K_2, n_1 = 0,5$ . Тогда  $K = 3K_1$ , что существенно.

Для определения эквивалентного модуля сдвига воспользуемся условием равенства угловых деформаций  $\gamma = \gamma_1 \pm \gamma_2$ , а также условием  $\tau = \tau_1 \pm \tau_2$  (где  $\tau$  — эквивалентное касательное напряжение;  $\bar{\tau}_1$  — среднее касательное напря-

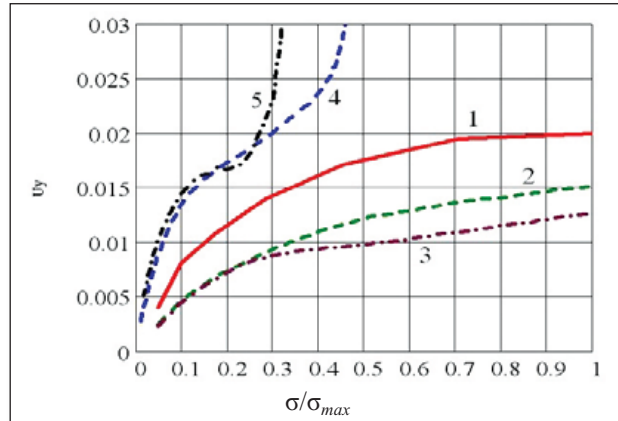


Рис. 4. Зависимости осадки  $U_y$  от относительной нагрузки  $\sigma/\sigma_{max}$  по результатам виртуальных компрессионных испытаний неоднородного грунта: 1 — без включений; 2, 3 — с включениями различной формы; 4, 5 — с порами различной формы

жение во вмещающем грунте;  $\bar{\tau}_2$  — среднее касательное напряжение во включениях). На основании этих равенств и известной зависимости  $\gamma = \tau/G$  можно показать, что:

$$G = G_1 + G_2 \tag{2}$$

причем  $\bar{\tau}_1 = \tau \frac{G_1}{G}$ ;  $\bar{\tau}_2 = \tau \frac{G_2}{G}$ .

Очевидно, что при  $G_2 \rightarrow 0$  будут выполняться условия:  $G = G_1, \tau \rightarrow 0$ , что соответствует случаю заполнения пор водой.

Воспользовавшись известными выражениями вида  $E = G/2(1 + \nu)$  и  $E = K/(1 - 2\nu)$  (где  $\nu$  — коэффициент Пуассона), можно через  $K$  и  $G$  определить эквивалентные модули деформации неоднородного грунта.

Рассмотрим структуру неоднородного грунта типа представленной на рисунке 1, б. В этом случае вмещающим является мелкозернистый песок или глинистый грунт с характерными значениями  $K_1$  и  $G_1$ , занимающий объем  $(1 - m_2)$  (где  $m_2$  — относительный объем отдельных крупных включений в единице объема грунта). Объемная деформация грунта в целом будет равна сумме объемных деформаций его составных частей:  $\varepsilon = \varepsilon_1(1 - m_2) + \varepsilon_2 \cdot m_2$ . Полагая, что  $\sigma = \bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2 = \alpha \sigma$  (где  $\alpha$  — коэффициент концентрации/деконцентрации среднего напряжения вокруг включений) и что, как и прежде,  $\varepsilon = \sigma/K$ , получаем:

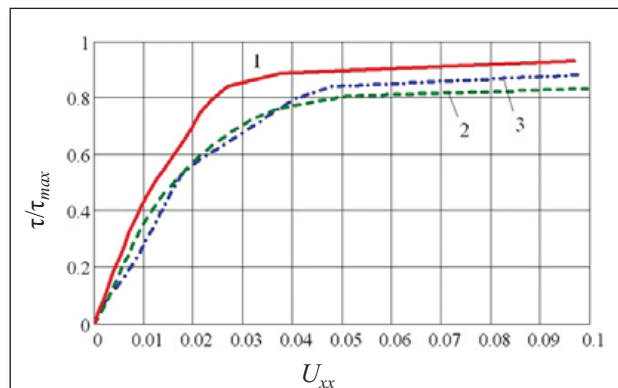


Рис. 5. Зависимости горизонтальных перемещений  $U_{xx}$  от относительной касательной нагрузки  $\tau/\tau_{max}$  при перекашивании в неоднородном грунте: 1 — без включений; 2, 3 — с включениями различной формы

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{\alpha K_1 \cdot m_2 + K_1 \cdot m_2} \quad (3)$$

причем при  $K_2 \rightarrow \infty K \rightarrow K_1 / (1 - m_2)$ .

причем при  $K_2 \rightarrow \infty$  будет выполняться условие  $K \rightarrow K_1 / (1 - m_2)$ . В случае  $m_2 = 0$  будет выполняться равенство  $K = K_1$ .

Рассмотрим количественную оценку концентрации напряжений вокруг крупных включений или пустот. Известно, что твердые включения, пустоты и локальные дефекты в структуре однородного материала вызывают концентрацию напряжений в однородном поле напряжений, созданном внешним воздействием. Решения таких задач наиболее часто встречаются при количественной оценке НДС сложных конструкций, деталей машин и оборудования на основе теории упругости и упругопластичности [5]. В качестве предела прочности в таких задачах принимается либо условие постоянства максимальных касательных напряжений Треска — Сен-Венана, либо условие постоянства интенсивности касательных напряжений Мизеса, которые не учитывают внутреннее кулоновское трение [5]. В приведенных ниже задачах в качестве расчетного будем рассматривать предельное состояние по теории Кулона — Мора, которое в условиях трехосного осесимметричного напряженного состояния записывается в виде:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{\sigma_\theta + \sigma_r + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \quad (4)$$

где  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  — максимальное и минимальное напряжения соответственно;  $\varphi$  — угол внутреннего трения;  $c$  — удельное сцепление.

Это условие позволяет оценить начальную критическую нагрузку на контактной поверхности твердых включений или на контуре пустот круглой формы при известных решениях таких задач в упругой постановке аналогично тому, как это использовалось Пузыревским при определении начальной критической нагрузки. Рассмотрим некоторые задачи по определению начальной критической нагрузки, приложенной к однородному телу на основе имеющихся решений соответствующей краевой задачи теории упругости.

Всестороннее осесимметричное сжатие круглой пластины с круглым отверстием в центре диаметром

$2a$  вызывает тангенциальное напряжение сжатия на контуре отверстия, определяемое выражением [5]:

$$\sigma_\theta = 2p \quad (5)$$

где  $p$  — нагрузка, действующая на внешней границе пластины.

Учитывая, что на контуре отверстия радиальное напряжение  $\sigma_r = 0$ , а продольное напряжение  $\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)$ , где  $\nu$  — коэффициент Пуассона,  $\sigma_\theta$  — тангенциальное напряжение, можем определить критическое значение нагрузки  $p^{**}$ , при котором на контуре отверстия начинает образовываться кольцевая зона пластического течения. Подставляя выражение (5) в формулу (4) и принимая  $\sigma_r = 0$ , получаем:

$$p_{ц}^* = c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (6)$$

Всестороннее сжатие пространства вокруг полости в форме шара диаметром  $2a$  вызывает тангенциальное напряжение сжатия на поверхности шаровой полости, определяемое выражением:

$$\sigma_\theta = 1,5p \quad (7)$$

При этом очевидно, что  $\sigma_r = 0$ .

В этом случае критическое значение нагрузки  $p^{**}$  определяется с помощью следующего выражения, полученного на основе формулы (4):

$$p_{ш}^* = \frac{4c}{3} \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (8)$$

Сравнивая формулы (6) и (8), следует отметить, что для разрушения стенок шарообразной полости потребуется в 4/3 раза большее напряжение, чем для разрушения стенок отверстия круглой формы (плоская задача), то есть:

$$p_{ш}^* = 1,33p_{ц}^* \quad (9)$$

Двухосное сжатие квадратной пластины с круглым включением в центре вызывает концентрацию тангенциального напряжения на контуре отверстия, определяемую выражением:

$$\sigma_\theta = 2p \quad (10)$$

В этом случае критическое значение нагрузки определяется по формуле типа (6).

Всестороннее сжатие круглого диска с жестким цилиндрическим включением в центре вызывает концентрацию радиальных сжимающих напряжений на контактной поверхности  $\sigma_r = \sigma \cdot \alpha$  (где  $\alpha$  — коэффициент концентрации, определяемый с учетом взаимодействия двух цилиндров на основе задачи Ляме). В связи с громоздкостью этого решения приводить его здесь не будем. Целесообразнее такие контактные задачи решать численным методом конечных элементов. Анализ таких решений с помощью программного комплекса ANSYS показал, что при наличии твердых включений круглой формы в условиях всестороннего сжатия, чистого сдвига, несимметричного двухосного сжатия возникают концентрации радиальных и касательных на-

Таблица 1

**Результаты численного решения контактных задач методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS (интенсивность напряжений  $\sigma'$ , кПа)**

| Вид задачи                         | Одноосное сжатие при $p_y = 1$ ; $p_x = 0^{**}$ | Всестороннее сжатие при $p_y = p_x = 1$ | Чистый сдвиг при $p_y = 1$ ; $p_x = -1$ |
|------------------------------------|---|---|---|
| Круглое отверстие                  | 3,00  | 2,04                                    | 3,98                                    |
| Круглое включение $\mu = 0,5^*$    | 2,02  | 1,43                                    | 4,55                                    |
| Круглое включение, $\mu = 0,7$     | 1,94  | 1,42                                    | 4,76                                    |
| Круглое включение $\mu = 1,0$      | 1,88  | 1,42                                    | 4,45                                    |
| Круглое включение, полное слипание | 2,51  | 2,66                                    | 2,85                                    |

\*  $\mu$  — коэффициент трения;  $p_x, p_y$  — нагрузка на внешних границах пластины по осям  $x$  и  $y$  соответственно.



пряжений на контактной зоне, которые зависят от граничного условия (полного прилипания или трения). Результаты расчетов НДС для этих случаев приводятся в табл. 1. Анализ результатов численного моделирования НДС и аналитического решения для осесимметричных задач показал их полное совпадение.

**Классификация неоднородных грунтов и зависимость их механических свойств от гранулометрического состава**

Свойства грунта как гетерогенной среды определяются взаимодействием ее составляющих, а именно твердой, жидкой и газообразной фаз. От их соотношения зависят свойства всего массива, а от вида упаковки — поведение грунта под нагрузкой. Многофазность грунта и зависимость его свойств от соотношения фаз делают задачу определения свойств многофакторной и сложной для рассмотрения. В то же время последовательное рассмотрение различных комбинаций сред от простых к сложным позволяет определить факторы, влияющие на сжимаемость и прочность массива.

В действующей нормативной документации предусмотрено определение предварительных значений прочностных и деформационных характеристик грунта на основании классификационных показателей, таких как коэффициент пористости, число пластичности, число текучести, степень водонасыщения, а для песчаных грунтов — еще и крупности частиц. При этом влияние частиц различного размера и их процентного содержания не учитывается.

Для анализа влияния размера частиц и их количественного содержания на механические свойства неоднородных грунтов была проведена серия лабораторных экспериментов, в ходе которых выполнялись испытания в одомере и стабиломере искусственных смесей частиц различного размера с известным процентным содержанием. В результате была получена зависимость угла внутреннего трения, сцепления и модулей деформации от неоднородности состава образца.

На основании анализа результатов выполненных исследований можно сделать вывод о наличии связи между гранулометрическим составом грунта и его механическими характеристиками. Эта связь объясняется различными видами упаковки частиц и принципиально разными НДС в элементарных объемах грунта.

На основе полученных зависимостей была разработана классификация неоднородных грунтов в зависимости от процентного содержания частиц различной крупности (рис. 6).

Для наглядного отображения предлагаемой классификации грунтов была разработана графическая интерпретация, основанная на треугольнике Ферре. Треугольник Ферре позволяет нанести на схему точку, имеющую три координаты, сумма которых составляет 100%. В предлагаемой классификации по координатам откладывается процентное содержание крупных (>2,0 мм), мелких (0,1–2,0 мм) частиц и заполнителя (пылеватых и глинистых частиц).

На рисунке 6 отдельные категории предложенной классификации представлены в виде областей на треугольнике Ферре. Границы между областями опреде-



Рис. 6. Классификация грунтов с неоднородным гранулометрическим составом в зависимости от процентного содержания частиц различного размера

лены по результатам лабораторных испытаний и представленных выше зависимостей механического поведения образцов от гранулометрического состава. Нижняя граница зоны фазового перехода отсекает математический предел максимальной плотности упаковки шарообразных частиц, при котором объем пор между ними составляет 26%. Это значение установлено по результатам аналитического решения задачи о максимальной плотности упаковки шарообразных частиц.

Предложенная классификация позволяет на основании данных о гранулометрическом составе грунта сделать предварительный вывод об особенностях поведения элементарного объема грунта и формирующемся в нем НДС. Эта информация позволяет смоделировать поведение такого массива и получить его характеристики методом конечных элементов.

Очевидно, что в настоящее время не применяется подобной классификации, а все образцы условно помещаются в вершины треугольника. При этом оценка их свойств производится ошибочно.

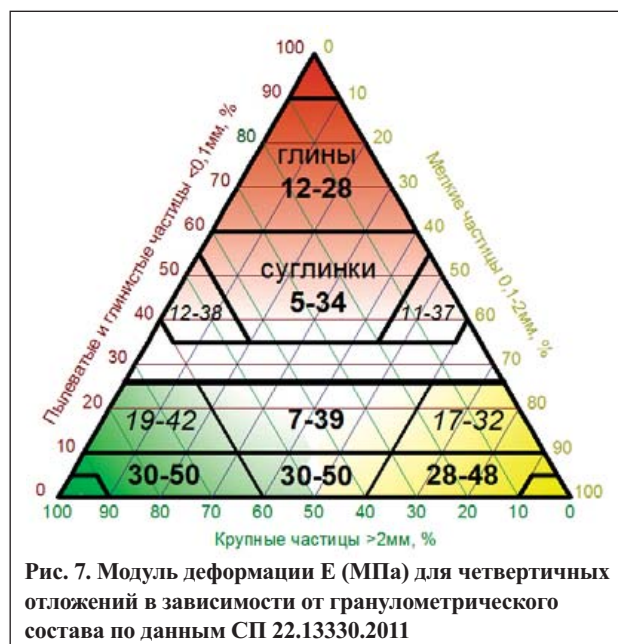
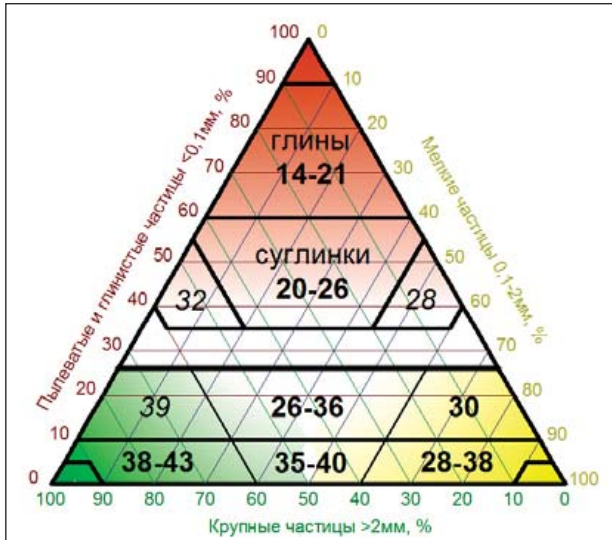


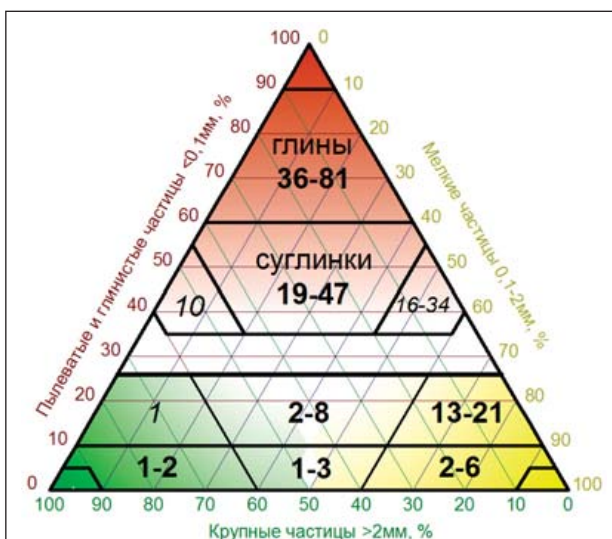
Рис. 7. Модуль деформации E (МПа) для четвертичных отложений в зависимости от гранулометрического состава по данным СП 22.13330.2011



**Рис. 8.** Угол внутреннего трения  $\phi$  (град.) для четвертичных отложений в зависимости от гранулометрического состава по данным СП 22.13330.2011

В качестве дальнейшего развития предложенной классификации на диаграмму были нанесены рекомендуемые значения механических характеристик — модуля деформации, удельного сцепления и угла внутреннего трения для четвертичных отложений в соответствии с действующим нормативным документом [7]. Эти величины были приняты для максимальной плотности упаковки (в случае более рыхлой упаковки все эти значения пропорционально снижаются). На рисунке 7 представлена диаграмма распределения модуля деформации в зависимости от гранулометрического состава частиц. Жирным шрифтом выделены значения из нормативной документации, курсивом — величины, полученные методом интерполяции. Аналогичные диаграммы могут быть получены и для сцепления и угла внутреннего трения (рис. 8, 9).

Из рисунка 7 видно, что по мере увеличения среднего размера частиц модуль деформации равномерно возрастает. Однако вокруг зоны фазового перехода на-




**Рис. 9.** Сцепление с (кПа) для четвертичных отложений в зависимости от гранулометрического состава по данным СП 22.13330.2011

блюдается значительное снижение модуля, которое можно объяснить нестабильным поведением скелета грунта и возможным лавинообразным разрушением цепочек частиц вследствие местной потери устойчивости в элементарном объеме.

Угол внутреннего трения снижается вместе с уменьшением размера частиц (см. рис. 8), что вполне закономерно, т.к. мелкие и пылеватые частицы, как правило, имеют менее шероховатую поверхность — следовательно, внутреннее трение в элементарном объеме для них меньше, чем для крупных частиц.

Величина сцепления, напротив, нелинейно возрастает с увеличением содержания пылеватых и мелких частиц (см. рис. 9), что объясняется увеличением удельного числа контактов между частицами и образованием водно-коллоидных связей.

Введение предлагаемой классификации позволяет более точно прогнозировать свойства грунтового основания с учетом неравномерности его гранулометрического состава. Кроме того, с помощью приведенных диаграмм предварительные значения механических характеристик грунта могут быть определены только по результатам определения гранулометрического состава, что позволяет быстрее приступить к предварительному проектированию. При этом определение гранулометрического состава обычно проводится с высокой точностью, в отличие от прочих классификационных показателей, таких как, например, число пластичности.

Механические свойства неоднородных грунтов в целом существенно зависят от степени неоднородности. Она влияет на формирование неравномерного НДС, переход материала в предельное состояние в отдельных зонах, а также на механические характеристики таких грунтов. Учет неоднородности позволяет повысить достоверность расчетов оснований и сооружений из неоднородных грунтов. 

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 2010.
3. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Госстрой СССР, 1979.
4. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Госстрой СССР, 1984.
5. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.
6. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982. 336 с.
7. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2010.
8. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 309 с.
9. Ухов С.Б., Конвиз А.В., Семенов В.В. Механические свойства крупнообломочных песков с заполнителем // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1993. № 1. С. 2–7.
10. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов: учебное пособие. М.: Недра. 1975. 304 с.

# ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА В РЕЗУЛЬТАТЕ МОДИФИКАЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ

## CHANGE OF SANDY SOIL PROPERTIES AS A RESULT OF MODIFICATION BY A FINELY DISPERSED ADDITIVE

### МАЛАХОВА Е.В.

Магистрант Института строительства и архитектуры (ИСИА) Северного арктического федерального университета им. М.В. Ломоносова (САФУ), г. Архангельск, malakhova.ev@yandex.ru

### АЙЗЕНШТАДТ А.М.

Профессор кафедры композиционных материалов и строительной экологии ИСИА САФУ, д.х.н., г. Архангельск, aizenstadt@agtu.ru

### ТУТЫГИН А.С.

Заведующий лабораторией кафедры композиционных материалов и строительной экологии ИСИА САФУ им. Ломоносова, г. Архангельск, tutygin@narfu.ru

### КОРШУНОВ А.А.

Доцент кафедры инженерной геологии оснований и фундаментов ИСИА САФУ им. Ломоносова, к.т.н., г. Архангельск, korshunov.astu@gmail.com

### MALAKHOVA E.V.

Candidate for a master's degree of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, malakhova.ev@yandex.ru

### AYZENSHTADT A.M.

Professor of the composite materials and environment engineering department of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, PhD (doctor of science in Chemistry), Arkhangelsk, aizenstadt@agtu.ru

### TUTYGIN A.S.

Head of the Laboratory of the Composite Materials and Environment Engineering Department of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, tutygin@narfu.ru

### KORSHUNOV A.A.

Associate professor of the engineering geology and foundation engineering department of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, PhD (candidate of science in Technics), Arkhangelsk, korshunov.astu@gmail.com

### Ключевые слова:

песчаный грунт; сапонит-содержащий материал; высокодисперсная добавка; прочностные характеристики.

### Key words:

sandy soil; saponite-containing material; finely dispersed additive; strength characteristics.

### Аннотация

**В статье представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию высокодисперсной добавки, состоящей из песка и сапонит-содержащего материала, на физико-механические свойства мелкопесчаного грунта.**

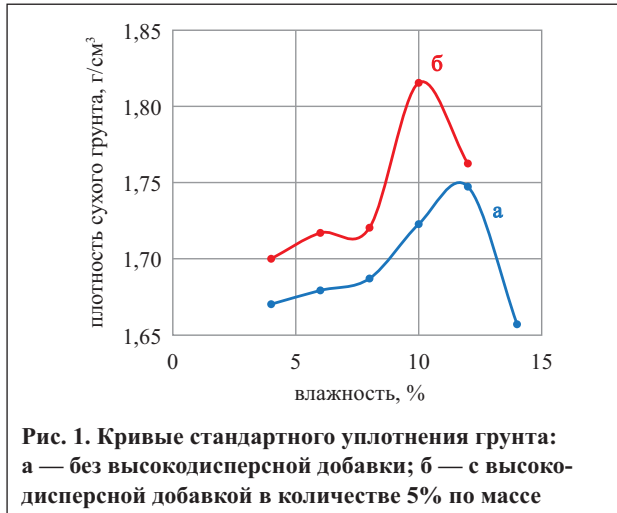
### Введение

Архангельская область богата месторождениями кварцевого песка. В основном это песок мелкий, который обладает достаточно низкими физико-механическими характеристиками, поэтому его применение в промышленном, гражданском и дорожном строительстве ограничено. В целях масштабного использования мелкого песка для строительных работ, в частности в основаниях дорожных насыпей и при обратной засыпке пазух котлованов, возникает проблема его укрепления, которая является актуальной на сегодняшний день.

Одним из возможных путей решения этой задачи является укрепление песчаных грунтов методами, основанными на нанотехнологическом подходе, в частности введение в грунты специальных добавок в высокодисперсном состоянии. Например, в работе [6] был определен оптимальный состав композиционной смеси (мелкого песка и сапонит-содержащего материала), которая может служить добавкой для укрепления песчаных грунтов. Авторами этих исследований было установлено, что при введении 5% (по массе) добавки, состоящей из смеси высокодисперсного сапонит-содержащего материала (4%) и мелкого песка (96%), удельное сцепление песчаного материала увеличивается с 7,4 до 19,1 кПа. Для приготовления этой смеси использовался мелкий песок, механически диспергированный до среднего размера частиц  $102 \pm 34$  нм, и са-

### Abstract

**The article presents experimental research results on influence of a finely dispersed additive consisting of sand and saponite-containing material on the physical-mechanical properties of fine sandy soil.**



**Рис. 1. Кривые стандартного уплотнения грунта: а — без высокодисперсной добавки; б — с высокодисперсной добавкой в количестве 5% по массе**

понит-содержащий материал, подвергшийся такой же обработке, со средним размером частиц  $361 \pm 96$  нм.

Целью исследований, представленных в данной работе, является изучение влияния высокодисперсной добавки на физико-механические свойства песчаного грунта (сопротивление сдвигу, способность к уплотнению, водопроницаемость, угол естественного откоса, набухание, плотность, плотность частиц) при оптимальной влажности.

**Методика исследований**

В качестве исследуемого материала был выбран мелкий песок с размером частиц 0,10–0,25 мм с месторождения «Краснофлотский-Запад». Для получения высокодисперсной добавки использовался сапонит-содержащий материал, выделенный из пульпы хвостохранилища промышленного обогащения руд месторождения алмазов, и мелкий полиминеральный песок с месторождения «Краснофлотский-Запад», предварительно отмытый от глинистых включений. Высокодисперсные компоненты получались методом диспергирования на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 (режимные параметры процесса размола приведены в статье [6]). Средний размер частиц мелкого песка составил  $102 \pm 34$  нм, сапонит-содержащего материала —  $361 \pm 96$  нм. Введение высокодисперсной добавки (5% по массе) в песчаный грунт происходило в два этапа. Сначала измельченный песок тщательно перемешивали с грунтом, а затем в полученную смесь добавляли сапонит-содержащий материал и также тщательно перемешивали.

Физические, механические и водные свойства грунта определялись в соответствии с методиками, принятыми для грунтовых материалов [1–5, 7]. Определение прочностных характеристик грунта проводилось с помощью автоматизированной испытательной системы SherarTrac-II.

**Результаты исследований и их обсуждение**

На первоначальной стадии была определена максимальная плотность сухого грунта с высокодисперсной добавкой ( $\rho_d^{max}$ ) при оптимальной влажности ( $W_{opt}$ ). На рисунке 1 представлены полученные кривые стандартного уплотнения грунтов, которые показывают что для песчаного грунта  $\rho_d^{max} = 1,75$  г/см<sup>3</sup>,  $W_{opt} = 12\%$ , а для

Таблица

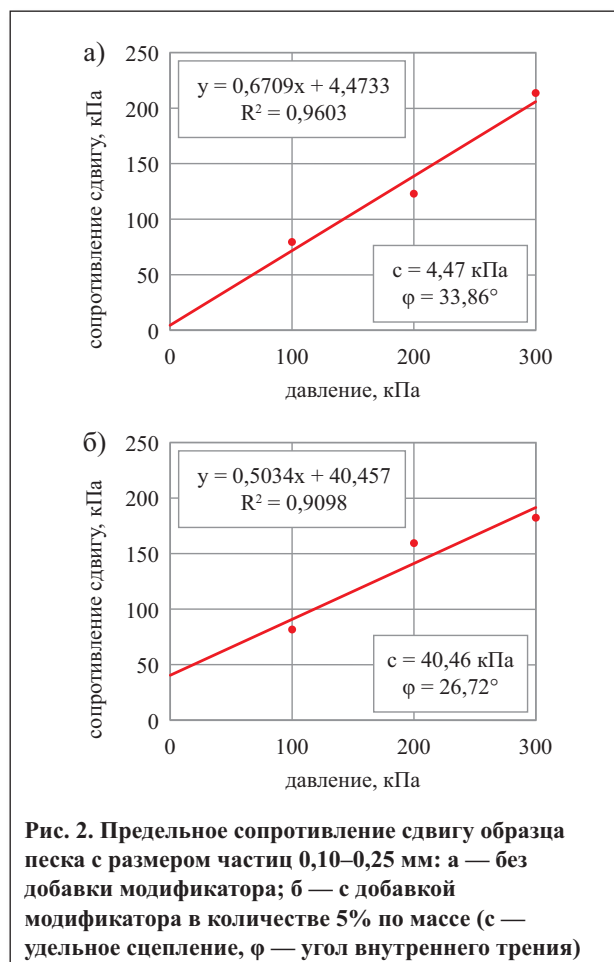
**Физико-механические свойства исходного и модифицированного высокодисперсной добавкой песчаного грунта**

| Характеристика*                    | Исходный песок | Модифицир. песок |
|------------------------------------|----------------|------------------|
| $\rho$ , г/см <sup>3</sup>         | 1,96           | 2,00             |
| $\rho_{ss}$ , г/см <sup>3</sup>    | 2,68           | 2,67             |
| $k_f$ , м/сут                      | 1,79           | 0,53             |
| $\Delta V$ , %                     | 0,00           | 0,07             |
| $\alpha_c$ , град.                 | 29             | 26               |
| $\alpha_b$ , град.                 | 35             | 25               |
| $e$                                | 0,53           | 0,47             |
| $W_{sat}$ , %                      | 0,20           | 0,18             |
| $S_r$                              | 0,60           | 0,57             |
| $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>       | 19,2           | 19,6             |
| $\gamma_{sb}$ , кН/м <sup>3</sup>  | 19,8           | 19,4             |
| $\gamma_{sat}$ , кН/м <sup>3</sup> | 20,6           | 21,0             |

\* Расшифровка обозначений приведена в тексте.

грунта, модифицированного высокодисперсной добавкой,  $\rho_d^{max} = 1,82$  г/см<sup>3</sup>,  $W_{opt} = 10\%$ .

Для исследуемых образцов исходного и модифицированного высокодисперсной добавкой песчаного грунта были определены: плотность ( $\rho$ ), плотность частиц



**Рис. 2. Предельное сопротивление сдвигу образца песка с размером частиц 0,10–0,25 мм: а — без добавки модификатора; б — с добавкой модификатора в количестве 5% по массе (с — удельное сцепление, φ — угол внутреннего трения)**



( $\rho_s$ ), коэффициент фильтрации ( $k_f$ ), величина набухания ( $\Delta V$ ), угол естественного откоса в сухом и водонасыщенном состоянии ( $\alpha_e$ ,  $\alpha_n$  соответственно), коэффициент пористости ( $e$ ), влажность при полном насыщении ( $W_{sat}$ ), степень влажности ( $S_r$ ), удельный вес ( $\gamma$ ), удельный вес с учетом взвешивающего действия воды ( $\gamma_{sb}$ ), удельный вес при полном водонасыщении ( $\gamma_{sat}$ ). Полученные физико-механические характеристики представлены в таблице, прочностные характеристики при оптимальной влажности — на рис. 2.

Эксперименты, результаты которых представлены на рис. 2, показывают, что после введения в песчаный грунт высокодисперсной добавки его удельное сцепление увеличивается в 9 раз. Кроме того, значительные различия наблюдаются в значениях коэффициента фильтрации: его величина у песка с высокодисперсной

добавкой в 3,8 раза ниже, чем при отсутствии добавки. Величина угла естественного откоса песчаного грунта в сухом состоянии при отсутствии добавки на 20% ниже, чем при ее наличии. Значения остальных характеристик для исходной и модифицированной проб грунта практически не различаются между собой.

### Выводы

Модификация песчаного грунта высокодисперсной добавкой, состоящей из смеси песка и сапонит-содержащего материала, в количестве 5% по массе значительно изменяет следующие его физико-механические свойства: удельное сцепление, коэффициент фильтрации, максимальную плотность сухого грунта при оптимальной влажности и угол естественного откоса. ❄

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Стандартинформ, 2010. 78 с.
2. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2008. 17 с.
3. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод определения максимальной плотности. М.: Госстрой России, 2003.
4. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. М.: Стандартинформ, 2008. 17 с.
5. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2005. 18 с.
6. Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Фролова М.А., Боброва М.П. Проектирование состава строительных композитов с учетом термодинамической совместимости высокодисперсных систем горных пород // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 74–76.
7. Чановский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М.: Недра, 1975. 304 с.



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.

Журналы представлены во 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.



### 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](mailto:pr@geomark.ru)

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



# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ



**Джозеф Мобуту**  
Президент демократи-  
ческой Республики Конго



**Жан Бедель Бокасса**  
Президент Централь-  
Африканской республики



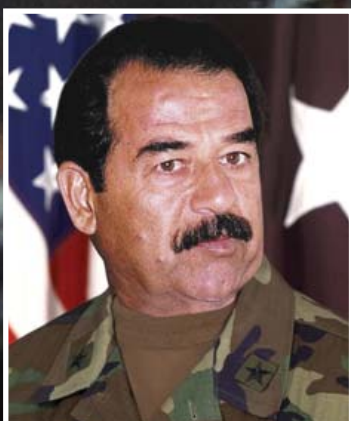
**Пол Пот**  
Вождь режима кампучий-  
ских «красных кхмеров»



**Масиас Нгема**  
Президент  
Экваториальной Гвинеи



**Иосиф Сталин**  
Верховный главноко-  
мандующий ВС СССР



**Саддам Хусейн**  
Президент Ирака



**Аугусто Пиночет**  
Президент Чили



**Франциско Франко**  
Каудильо Испании

## НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

### **БОГДАНОВ М.И.**

председатель научно-редакционного совета,  
генеральный директор ОАО «ПНИИИС»,  
канд. геол.-минерал. наук

### **ЗИАНГИРОВ Р.С.**

главный геолог ГУП «Мосгоргеотрест»,  
д-р геол.-минерал. наук, проф.

### **КАСИМОВ Н.С.**

декан географического ф-та МГУ,  
академик РАН, проф.

### **КОНИЩЕВ В.Н.**

заведующий кафедрой криолитологии и гляциологии  
географического ф-та МГУ, д-р географ. наук, проф.

### **КОРОЛЕВ В.А.**

профессор кафедры инженерной и экологической геологии  
геологического ф-та МГУ, д-р геол.-минерал. наук

### **МАЙОРОВ С.Г.**

первый заместитель управляющего трестом,  
главный инженер ГУП «Мосгоргеотрест»

### **ПАВЛОВА О.П.**

ученый секретарь, заведующая отделом ОАО «ПНИИИС»,  
канд. геол.-минерал. наук

### **ПЕНДИН В.В.**

декан гидрогеологического факультета РГГРУ,  
зав. кафедрой инженерной геологии РГГРУ,  
д-р геол.-минерал. наук, проф.

### **СЕРЕДИН В.В.**

заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр  
Пермского государственного национального исследовательского  
университета, генеральный директор научно-исследовательского  
проектного и производственного предприятия по природоохранной  
деятельности ООО «Недра», д-р геол.-минерал. наук, проф.

### **ТЕР-МАТИРОСЯН З.Г.**

заведующий кафедрой механики грунтов,  
оснований и фундаментов МГСУ, д-р техн. наук, проф.

### **ТРОФИМОВ В.Т.**

заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии  
геологического ф-та МГУ, д-р геол.-минерал. наук, проф.

### **ХОМЕНКО В.П.**

профессор МГСУ, д-р геол.-минерал. наук

### **ШАМАНОВА И.И.**

заведующая отделом ОАО «ПНИИИС», канд. географ. наук

### **ШЕШЕНЯ Н.Л.**

заведующий отделом ОАО «ПНИИИС»,  
д-р геол.-минерал. наук

### **ЭКЗАРЬЯН В.Н.**

заведующий кафедрой экологии и природопользования РГГРУ,  
д-р геол.-минерал. наук, проф.

### **РЕДАКЦИЯ**

105187, Москва, Окружной проезд, д. 18

Тел.: +7 (495) 366-2684, 366-2095. Факс: +7 (495) 366-2684

Email: info@geomark.ru

### **АНАНКО ВИКТОР**

главный редактор

info@geomark.ru

### **ИСАЙКИНА ОЛЬГА, ФЕДОТОВА ТАТЬЯНА**

сектор подписки и распространения

pr@geomark.ru

### **КАШИН ДМИТРИЙ**

руководитель рекламного сектора

kashin@geomark.ru

### **СТРЕЛКОВА ОЛЬГА**

менеджер по рекламе

strelkova@geomark.ru

### **АПТИКАЕВА ГАЛИНА**

литературный редактор

### **ШАТУЛИН АЛЕКСАНДР**

художник

### **ДИЗАЙН И ВЕРСТКА:**

#### **ИП Смирнова М.А.**

Редакция может не разделять точку зрения автора.

За содержание рекламных материалов редакция  
ответственности не несет.

Подписано в печать 20.11.2013. Тираж 1500 экз.

Свидетельство о регистрации средства массовой  
информации ПИ № ФС77-48918 от 12 марта 2012 г.

Подписной индекс ОАО Агентство «Роспечать» 36611.

## **Колонка М.И. Богданова**

**4**

## **ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ**

*Шибакова В.С.*

### **Член-корреспондент АН СССР Виктор Прокопьевич Солоненко (1916–1988)**

**8**

## **ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИЙ**

*Трофимов В.Т., Королев В.А.*

### **Уроки наводнений в Крымске и на Амуре: мнение инженер-геологов**

**20**

## **РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

*Крюков А.В., Грива Г.И., Брушков А.В*

### **Инженерно-геокриологические условия трассы газопровода Бованенково — Ухта на территории полуострова Ямал и схема районирования территории**

**26**

*Муравьев Ф.А., Жаркова Н.И., Латыпов А.И.*

### **Карбонатный элювий на территории г. Казани**

**34**

*Мясников Е.А., Коробов В.В., Сорокин П.С.*

### **Геологические и геоморфологические условия освоения прибрежных зон полуострова Муравьева-Амурского (морфоструктурные аспекты)**

**44**

## **ГРУНТОВЕДЕНИЕ**

*Алексеев А.Ф., Грязнов О.Н.*

### **Физико-механические свойства метасоматитов серпентинитовой формации Баженовского месторождения хризотил-асбеста**

**54**

*Тер-Мартirosян З.Г., Мирный А.Ю.*

### **Зависимость механических свойств грунтов от степени их неоднородности**

**60**

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ**

*Малахова Е.В., Айзенштадт А.М., Тутьгин А.С., Коршунов А.А.*

### **Изменение свойств песчаного грунта в результате модификации высокодисперсной добавкой**

**68**

**M.I. Bogdanov column 4**

HISTORY, THEORY AND METHODOLOGY

*Shibakova V.S.*

**Corresponding member of the Academy  
of Sciences of the USSR Viktor Prokopyevich  
Solonenko (1916–1988) 8**

ENGINEERING PROTECTION OF TERRITORY

*Trofimov V.T., Korolev V.A.*

**Lessons of the floods in Krymsk and in the  
Amur region: engineering geologists' opinion 20**

REGIONAL ENGINEERING GEOLOGY

*Kryukov A.V., Griva G.I., Brushkov A.V.*

**Engineering-geocryological conditions  
of the Bovanenkovo — Ukhta main gas pipeline  
route in the territory of the Yamal Peninsula  
and the area zoning scheme 26**

*Mouraviev F.A., Zharkova N.I., Latypov A.I.*

**Carbonate eluvium in the Kazan city area 34**

*Myasnikov E.A., Korobov V.V., Sorokin P.S.*

**Geological and geomorphological conditions of  
development of the Muraviev-Amursky peninsula  
coastal zones (morphostructural aspects) 44**

SOIL'S STUDIES

*Alekseev A.F., Gryaznov O.N.*

**Physical-mechanical characteristics  
of the serpentinite formation metasomatites  
of the Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos  
Deposit 54**

*Ter-Martirosian Z.G., Mirniy A.YU.*

**Dependence of mechanical properties  
of soils on the degree of their heterogeneity 60**

ENGINEERING AMELIORATION

*Malakhova E.V., Ayzenshtadt A.M., Tutygin A.S., Korshunov A.A.*

**Change of sandy soil properties as a result  
of modification by a finely dispersed additive 68**

**НОМЕР ВЫПУЩЕН  
ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:**

**НП СРО «АИИС»**

Директор: МАТРОСОВА Альбина Владимировна.  
Адрес: 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 18.  
E-mail: mail@oais.ru.  
Тел./факс: +7 (495) 228-08-68, 366-13-28.

**ООО «ГЕОИНСЕРВИС»**

Директор: ПРОЦЕНКО Нина Викторовна.  
Адрес: 443087, г. Самара, пр-т Кирова, д. 166, кв. 10.  
E-mail: lmp79@mail.ru.  
Тел./факс: +7 (846) 956-53-92.

**ООО «БЕЛГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»**

Директор: РЫБАЛОВ Алексей Иванович.  
Адрес: 308014, г. Белгород, ул. Чехова, д. 2А.  
E-mail: bsi31@yandex.ru.  
Тел./факс: +7 (4722) 26-02-62.



# ЧАШКА БЕЛОСНЕЖНОГО КОФЕ, ИЛИ СКОЛЬКО ЖИВУТ ДИКТАТУРЫ

«Почему одни автократии живут дольше других и от чего это зависит? Ответить на эти вопросы непросто, поскольку режимы, определяемые как автократии, отличаются большим разнообразием как по степени своей выживаемости, так и по устойчивости к кризисам. Одни диктатуры длятся по несколько недель, другие — тысячелетиями. В XX в. среди немонархических режимов чемпион по длительности — либерийский режим Партии истинных виггов: 102 года (1878-1980). А вот, например, Боливия — лидер по числу краткосрочных военных диктатур: с начала XIX в. их там насчитывается 14 штук. Также велико разнообразие по срокам правления самих диктаторов. Среди немонархических диктаторов в XX в. рекорд правления принадлежит Фиделю Кастро, который 52 года вел Кубу к светлому коммунистическому будущему (среди монархов рекорд у короля Свазиленда Собузе II — 82 почетных года). Иосиф Сталин со своими 30 годами у власти — на скромном тридцатом же месте. А вот, например, венесуэльский Педро Кармона Эстанга всего два дня возглавлял новый режим (12-13 апреля 2002 г.) в результате попытки военного переворота против Чавеса»\*.

«Политолог Барбара Геддес (в статье *What Do We Know About Democratization After Twenty Years*) показывает, что из трех наиболее распространенных в XX в. типов автократий — персоналистского, однопартийного и военного — самыми живучими (в среднем 23 года жизни) чаще оказывались однопартийные системы, т.е. те, где одна партия полностью доминирует в политической жизни страны, например Советский Союз, Вьетнам или Китай (средняя продолжительность жизни персоналистских автократий — 15 лет, военных — 9 лет). Однопартийные системы отличаются очень высоким уровнем институционализации и кооперации между членами партии, неуязвимостью к внутриэлитным конфликтам. Система внутрисистемных сдержек и противовесов в них такова, что ни одна из сторон не заинтересована — и не в состоянии — нарушить баланс. Передача же власти осуществляется через партийные механизмы»\*.

Самолет летел в Сочи. Снова в Сочи. На одном из олимпийских объектов сотрудники института уже более года вели наблюдения за деформациями грунтового массива, выполняли геофизические работы. Мне надо было в очередной раз встретиться с нашим полевым отрядом и посмотреть, что изменилось на объекте.

Ранее утро. Хотелось спать. Ожидание кофе, который предлагают пассажирам. Черный кофе утром, когда хочется спать, это замечательно. Сквозь дрему вспомнился другой кофе — белый. Мне никогда не доводилось его видеть, не доводилось его пробовать. Но одна история про белый, белоснежный кофе, рассказанная моим знакомым, запомнилась.

Было лето. Какой это был год не столь важно. Это был год, когда Саддам Хусейн все еще был лидером Ирака, но эмбарго на поставки нефти уже действовало. Два уважаемых человека ехали к Хусейну. Долетев до одной из близлежащих стран, они пересели во встречающий их джип и понеслись по пустыне в сторону Багдада. Длинная дорога, однообразие которой только раз было нарушено короткой автоматной очередью, выпущенной по их автомобилю. Несколько пробоин в кузове. Живы, раненных нет. Ответный огонь автоматов сопровождающих и резко возросшая скорость машины позволили вновь добиться однообразия путешествия. Ничего беспокоящего. Дорога. Пустыня.

**«Перефразируя Льва Толстого, политологи шутят, что «все демократии похожи друг на друга, но каждая автократия несчастна по-своему».\***

На следующий день они встретились с Саддамом Хусейном. Я не знаю, о чем они говорили (немедленно забыл все рассказанное мне). Запомнилось лишь одно. Иракский диктатор поразил их белоснежным кофе, необыкновенно душистым и крепким, который им подавали в очень маленьких чашечках. Крепчайший белоснежный кофе. Это одна из историй, связанных с диктаторами.

Другая история. В самолете, летящем в Пермь, мне в газете попала статья Марии Гайдар и Марии Снеговой «Почему одни авторитарные режимы живут дольше других». Статья о диктаторах и диктатурах. Интересно.

\* Цитата по: «Почему одни авторитарные режимы живут дольше других». Мария Гайдар, Мария Снеговая // *Ведомости*, 29.07.2013 (<http://www.vedomosti.ru/opinion/news/14655661/kak-dolgo-zhivut-iktatory#ixzz2du1UmveC>)



Гайдар с соавтором отмечают, что в XX веке существовали три наиболее распространенных типа недемократических режимов, автократий — персоналистский, однопартийный и военный. При этом, по их мнению, суть персоналистского режима такова, что лидер вынужден постоянно ослаблять институты из боязни невзначай создать себе сильных конкурентов или ограничить свою власть. Кроме того, по той же причине «он вынужден осуществлять постоянную ротацию элит (чтобы никто из его приспешников не чувствовал себя слишком независимым от монаршей воли). Отсюда — институциональная слабость персоналистских систем и их уязвимость перед кризисами. К тому же у персоналистского лидера обычно нет сильной базы поддержки (система держится на личности руководителя, а не на прочной институциональной базе партийного типа), поэтому, чтобы обеспечить себе лояльность элит и поддержку населения, лидер вынужден все время подкупать их материальными и нематериальными благами. Отсюда высокая коррупционность таких систем (доступ к должностям — один из способов подкупа элит). С одной стороны, группа поддержки персоналистского лидера относительно невелика, но, с другой стороны, ему необходим постоянный денежный поток для подкупа своих сторонников... Это означает, что персоналистские системы особенно уязвимы к экономическим кризисам: если не будет денег на подкуп бюрократии и армии, режиму несдобровать».

Эти описания различных недемократических способов удержания власти напомнили мне ситуацию в Национальном объединении изыскателей с обязательным членством. Такая маленькая «тюрьма народов» для отдельно взятой отрасли, послушно платящей обязательные членские взносы, которые хочется скорее назвать поборами. Недовольство значительной части изыскателей положением дел в отрасли, недовольство даже членов Совета Национального объединения изыскателей выбранным ими президентом НОИЗ. Президента хотят переизбрать — он послушно пишет заявление о собственной отставке. Добровольной. Но не сейчас. Ему всего 79 лет. Он жалобно просит Совет позволить ему еще немножко... Поручить... Ну пожалуйста... Заявление об отставке написано. Все успокоились. Все решено, надо лишь немножко подождать. Тут президент НОИЗ отзывает свое заявление. Это его заявление. Хочет пишет. Хочет отзывает. Ему теперь всего 80 лет. Он еще готов послужить изыскателям, которые в большинстве своем ждут перемен. У меня возникает ассоциация с наперсточниками, которые ловко обыгрывали глупых-глупых пассажиров на вокзалах... Но президент НОИЗ опытный чиновник. Опытный человек. Опытный руководитель. Практически 600 миллионов рублей выручки в год при наличии в организации около 25 человек производственного персонала... Это надо уметь. Любят его заказчики. Желают. Хотят, чтобы этот мощнейший коллектив освоил их сотни миллионов

«Стивен Левитский и Люкан Вей в недавно опубликованной в *Journal of Democracy* статье (*Durability of Revolutionary Regimes*) обращают внимание на общую черту самых живучих автократий XX в.: все они возникли в результате социальных революций (Китай, Куба, Иран, Мексика, СССР) или национально-освободительной борьбы (Ангола, Мозамбик, Вьетнам, Зимбабве). Многие из самых «бородатых» автократий XX в. (Мексика — 83 года, СССР — 74 года, Китай — свыше 63 лет, Куба — свыше 54 лет, Вьетнам — свыше 59 лет и т. д.) — за вычетом нефтеэкспортирующих монархий Персидского залива — были рождены масштабными насильственными революциями. И после распада СССР сохранились лишь те режимы, которые вышли из кровавых гражданских войн (Китай, Куба, Лаос, Северная Корея, Вьетнам, Ангола, Мозамбик, Зимбабве).

По мысли авторов, родовая травма в виде кровавого социального конфликта выполняет несколько благотворных для будущей диктатуры функций. Во-первых, она уничтожает независимые центры власти, в том числе институты традиционной власти, независимую церковь, землевладельческие элиты и др. Новое правительство, таким образом, может без особого сопротивления монополизировать власть. Например, Гражданская война 1918-1920 гг. позволила большевикам уничтожить многих конкурентов (в том числе эсеров, которые до войны набрали наибольшее число голосов на парламентских выборах). Во-вторых, революции создают сильные правящие партии. Новое правительство организует власть по примеру армии, с военной дисциплиной и структурой подчинения. Также военный конфликт усиливает сплоченность элит, их партийную идентичность и ведет к появлению лидеров с высоким уровнем легитимности и народной поддержки (под лозунгами «Наш спаситель», «Принес стабильность» и т.д.). В-третьих, революционные режимы отличаются неуязвимостью к военным переворотам прежде всего потому, что идеологически и организационно революционная армия оказывается на стороне нового режима. Ну и, в-четвертых, революции создают мощные аппараты принуждения, уничтожающие оппозицию и облегчающие новому режиму задачу выживания. Таким образом, авторитарные системы, возникшие на месте слабых или разрушенных институтов, имеют больше шансов выжить, однако только при условии, что смогут впоследствии выстроить четкую институционализированную систему наследования власти на месте старой, уничтоженной революцией»\*.



рублей. Наверно это работает волшебное слово. Ну пожалуйста...

Это диктатура? На мой взгляд, да. Если большинство изыскателей хочет перемен, но вынуждены вновь и вновь видеть во главе Национального объединения изыскателей человека, которого многие воспринимают, как бы это помягче сказать, как не совсем достойного, на мой взгляд, это диктатура. В октябре очередные перевыборы президента НОИЗ. С большой вероятностью «оппозиция» не договорится, кто пойдет как единый кандидат от них на выборы против аксакала. Аксакал выставит вновь свою кандидатуру на выборы и еще подготовит пару альтернатив-дублеров, которые в случае чего станут его «вторым я». Его вновь поддержат сплоченные коммерческие СРО. Да и почему же не сплотиться, если один человек представляет на выборах 5 СРО? Мне всегда проще договориться о поддержке моей позиции с самим собой! Для коммерческих СРО с одним хозяином это не сложнее... Президент НОИЗ останется на своем посту. Может быть, добавит к титулу слово «почетный». Почетный Президент.

На сколько времени это еще изыскателям? Мария Гайдар предоставляет статистические данные. Средняя продолжительность «жизни» персоналистских автократий — 15 лет. Действующий президент НОИЗ занимает этот пост с 2009 года. Так что, по статистике, всего еще 11 лет и

91-летний президент, не исключено, покинет свой пост в Национальном объединении изыскателей. Так что, дорогие изыскатели, ждать осталось недолго!

Внимательнее! Вы это можете! Так под каким наперстком шарик?

Надо будет как-нибудь попробовать белый кофе...

*М.И. Богданов*

*Настоящая Колонка была написана в середине сентября 2013 года. 25 сентября 2013 г. была попытка провести Совет НОИЗ, который не состоялся из-за отсутствия кворума. А 3 октября 2013 г. по этой же причине не состоялся Съезд НОИЗ. Тогда же Президент НОИЗ сообщил, что он изменил свое решение об отставке в октябре. 30 октября 2013 г. была совершена еще одна попытка провести заседание Совета НОИЗ, на котором предполагалось назначить дату проведения отчетно-перевыборного Съезда в декабре. Но эта и эта попытка закончилась тем, что Президент НОИЗ сумел убедить оппозицию не проводить отчетно-перевыборный Съезд в 2013 году и, более того, потребовал обещания, что если Съезд в декабре состоится для утверждения бюджета, оппозиция не будет пытаться на нем его переизбрать. Прогнозы подтверждаются. Мы еще не знаем, каким образом Л.Г. Кушницр будет добиваться продления своих полномочий до ... года, но понимаем, что, скорее всего, он будет бороться за право руководить до последнего. Он же помнит о судьбе диктаторов после...*

*На одном из последних съездов НОИЗ меня позабавил замечательный спектакль для нас, барашков. Я тут же представил себе фильм про сельский заезжий цирк начала 20 века. Шатер на пыльной площади. Шоу и опасные аттракционы. Соревнования мощнейших и лучших борцов или боксеров из соседнего Козельска и голос ведущего на арене. «А теперь господа, перед вами на арене Мощный Акимов и Супермощный Кушницр! Вот они, наши гиганты! Вот эти люди, о которых слагают легенды! Они перед вами! Они ведут бой! Честный бой! Они сражаются! Они честно сражаются! Это честный, честный, честный бой! Это честный бой, повторяю! Акимов наступает! Акимов еще наступает! Мощный Акимов наносит свой классический ханты-мансийский удар! Слева снизу, резко, красиво! Молодец, молодец Акимов! Вот, сейчас, почти!!!! Но... Но побеждает супермощный, супермудрый и суперчестный! Побеждает Супермощнейший! Побеждает Кушницр! Ура, господа! Ура победителю! Урррра Супермощному! Есть люди в нашем Козельске, есть! Троекратное ура победителю! Урррра! Виктор Иванович, срочно подай полотенце победителю! Надо утереть пот герою! Ты чего Витя, забыл уже, как прислуживать надо? Спасибо всем вам, кто принял участие в этом честном поединке двух злейших врагов — Кушницра и Акимова! Злейшие враги, пожмите друг другу руки. Это же спорт и вы не должны ненавидеть друг друга после честного поединка! Не будете? Ну, молодцы! Душечки! Даже дружить обещаете? Ну совсем молодцы! Что значит настоящие спортсмены – пять минут назад готовые убить друг друга, а теперь, нежно держась под руку, идущие рядом, идущие отмечать победу! Деньги за входные билетки получены. Андрюшка, деньги забрал? Спасибо! Спасибо всем! Вы все свободны. Ну, в смысле, пошли вон, козлы. Пошли вон! Вон вам сказали! Вон! Все поняли? Выборы, в смысле поединков, закончились!». Впрочем, это невероятные картинки из буржуазного прошлого, не имеющие ну никакого отношения к нашему светлому изыскательскому настоящему. Совпадение любых фамилий и фактов в данном тексте, конечно, не имеет никакого отношения к реальной жизни. Продукт воображения. Титры со словами о том, что ни одна кошечка или собачушечка при всем произошедшем травмирована не была, появляются на экране.*

*М.И.Б.*



Директор ООО «Белгород-  
стройизыскания»  
Рыбалов Алексей Иванович



**Мы выполняем следующие виды работ:**

- Инженерно-геодезические изыскания;
- Инженерно-геологические изыскания;
- Инженерно-экологические изыскания;
- Инженерно-геотехнические изыскания;
- Обследование состояния грунтов основания, фундаментов зданий и сооружений;
- Бурение лидерных скважин.

ООО «Белгородстройизыскания» — это одна из ведущих изыскательских организаций Белгорода и Белгородской области на сегодняшний день. Сочетая в своей деятельности высокий профессиональный уровень ведущих специалистов компании и современное буровое, опытное, геодезическое и лабораторное оборудование, мы уже на протяжении более десяти лет оправдываем доверие каждого из своих заказчиков.

В нашей команде работают профессионалы своего дела, чей стаж работы в среднем от 10 до 30 лет. Организация оснащена современными геодезическими приборами, лабораторным оборудованием, а также техникой для выполнения буровых работ и опытных испытаний грунтов. При этом мы не останавливаемся на достигнутом и продолжаем развиваться дальше. ООО «Белгородстройизыскания» активно сотрудничает с белгородскими университетами, поощряя развитие и воспитание будущих профессионалов, а также поддерживает тесные связи с ФГУП «ВНОГЕМ», ООО «Центрогипроруда», ОАО «Белгородгражданпроект» и др.



# ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АН СССР ВИКТОР ПРОКОПЬЕВИЧ СОЛОНЕНКО (1916–1988)

## CORRESPONDING MEMBER OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR VIKTOR PROKOPYEVICH SOLOLENKO (1916–1988)

### ШИБАКОВА В.С.

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

#### Ключевые слова:

В.П. Солоненко; член-корреспондент АН СССР; Восточно-Сибирская секция Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии; инженерная геология; сейсмогеология; палеосейсмогеологический метод исследований; Восточная Сибирь.

### SHIBAKOVA V.S.

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

#### Key words:

V.P. Solonenko; corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR; East-Siberian Section of the Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology; engineering geology; seismogeology; paleoseismogeological research method; Eastern Siberia.

### Аннотация

Данная публикация продолжает серию статей В.С. Шибаковой о Научном совете АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии и об ученых, которые были с ним связаны. Она посвящена члену-корреспонденту АН СССР Виктору Прокопьевичу Солоненко (1916–1988), который был инициатором создания и председателем Восточно-Сибирской секции Научного совета.

### Abstract

The publication continues the series of articles by V.S. Shibakova about the Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology and about scientists who were associated with it. The paper is devoted to corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR Viktor Prokopyevich Solonenko (1916–1988 rr.) who initiated creation of the East-Siberian Section of the Scientific Council and was its chairman.

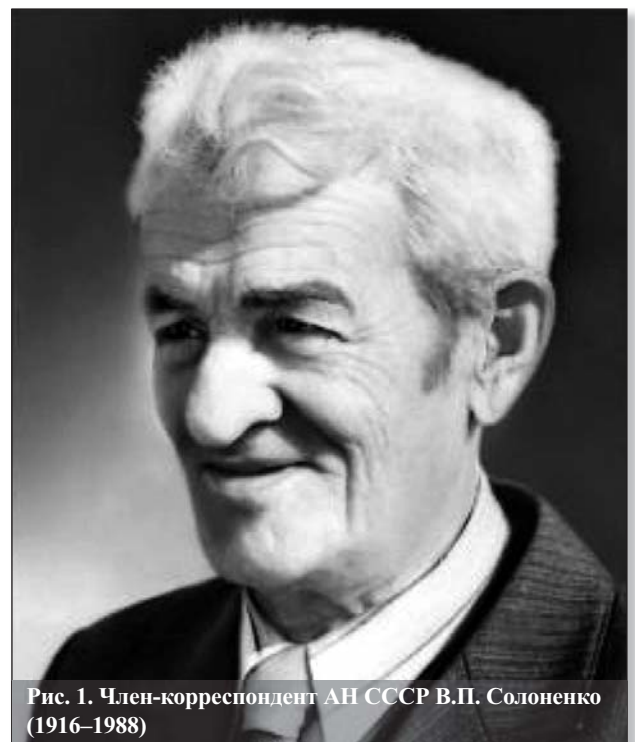


Рис. 1. Член-корреспондент АН СССР В.П. Солоненко (1916–1988)

Виктор Прокопьевич Солоненко был выдающимся советским ученым — геологом, геофизиком, основоположником инженерной геологии в Восточной Сибири. Его работы привели к созданию нового научного направления в геологической науке «сейсмогеология» и разработке палеосейсмогеологического метода исследований. Он создал сибирскую сейсмогеологическую школу, получившую международное признание.

В 1963 году в Советском Союзе была опубликована монография «Гоби-Алтайское землетрясение», написанная коллективом авторов во главе с В.П. Солоненко, а в 1965 году эта книга была переиздана на английском языке в США и Англии. Так началось шествие по планете нового метода исследований в геологической науке.



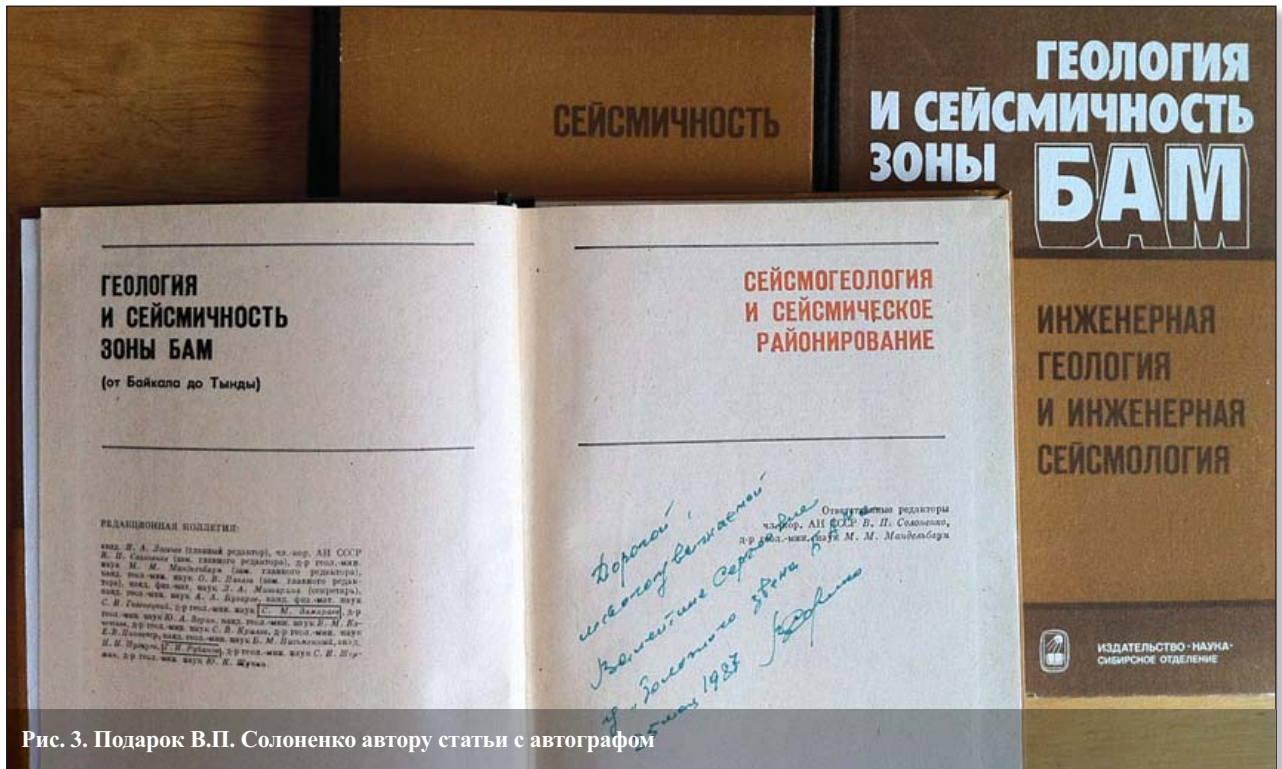


Рис. 3. Подарок В.П. Солоненко автору статьи с автографом

иностранных ученых, библиографию его основных работ, а также его знаменитую статью «Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам». Далее я постараюсь представить основные фрагменты из научной биографии В.П. Солоненко, используя материалы в том числе и из этой книги.

Первые научные разработки Виктора Прокопьевича были в области военной геологии и водоснабжения войск в условиях вечной мерзлоты. Они были направлены на обеспечение эффективности изысканий для оценки инженерно-геологических условий сооружения военных коммуникаций. Кандидатская диссертация В.П. Солоненко «Военная геология в условиях вечной мерзлоты» была защищена в 1943 г. и опубликована в 1944 г. в виде монографии, которая на протяжении многих лет являлась методическим руководством в действующей армии и учебником для военных академий и военно-инженерных школ.



Рис. 4. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Дискуссия во время движения поезда. Сидят на переднем плане (слева направо): В.П. Солоненко, Н.А. Логачев (май 1987 г., фото из книги [1])

Чуть позднее Виктор Прокопьевич занимался решением задач, связанных с поисками и разведкой стратегически важного для страны сырья в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Его теоретические разработки о происхождении графитовых толщ и их районирование по геотектоническому принципу явились фундаментальной основой для прогнозирования и дальнейших поисков проявлений графита. В.П. Солоненко лично открыл более 20 месторождений. Вот описание того периода его жизни, данное академиком Н.А. Логачевым: «Виктор Прокопьевич отличался необыкновенным трудолюбием и в молодые годы мог работать регулярно по 14 часов в сутки. Особенно напряженным выдался конец 40-х годов, когда он готовил отчет о графитовых месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Востока в связи с запросами оборонной и зарождавшейся атомной промышленности. На кафедре динамической геологии его можно было застать рано утром и поздно вечером, когда на факультете не оставалось ни души. Результатом такого сконцентрированного труда явилась монография «Геология месторождений графита Восточной Сибири и Дальнего Востока» (1951 г.), защищенная в МГУ в июне 1952 г. в качестве докторской диссертации. Получение ученой степени доктора наук в неполные 36 лет и звания профессора в неполные 37 лет — абсолютный рекорд раннего созревания не только для геологического факультета университета, но и для всего Иркутска».

В.П. Солоненко постоянно расширял круг своих исследований в области динамической и инженерной геологии, геокриологии и сейсмического районирования. При этом особое внимание он уделял изучению закономерностей развития физико-геологических процессов и явлений, связанных с неотектоникой, сейсмичностью и вечной мерзлотой. Существенное место он отводил изучению таких явлений, как отседание склонов, скальные и снежные обвалы, оползни, солифлюкция, карст, сели в условиях повышенной сейсмич-



ности. Монография Виктора Прокопьевича «Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири», написанная еще в 1947 г., была первым трудом по региональной инженерной геологии и инженерно-геологическому районированию и являлась справочным и нормативным документом для проектировщиков и изыскателей. Ю.Б. Тржицинский писал: «Он первым обратил внимание на инженерно-геологические особенности Восточной Сибири — этого обширного края, простирающегося от долины р. Енисея до Западного Приамурья». В работе «Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири» В.П. Солоненко доказал, что задачи региональной инженерной геологии этой обширной территории определяются сложным геологическим строением, особенностями рельефа, тектоникой и историей формирования геологических структур, а также своеобразными физико-географическими условиями. Он детально охарактеризовал развитие в Восточной Сибири экзогенных геологических процессов. Анализируя грунтовые условия, Виктор Прокопьевич первым привел характеристику лессовых пород и показал опасность и риск возведения народно-хозяйственных объектов на территориях, сложенных этими своеобразными грунтами. Ю.Б. Тржицинский подчеркнул, что указанный научный труд В.П. Солоненко до настоящего времени используется в инженерно-геологической практике и в вузах Иркутска.

Профессор В.П. Солоненко успешно работал в Иркутском университете. Он создал и возглавил кафедру полезных ископаемых и геофизики, с 1953 по 1958 г. являлся деканом геологического факультета, читал лекции студентам, занимался с аспирантами. И вдруг жизнь его круто изменилась. 1957 г. был ознаменован двумя сильными землетрясениями — 10-балльным Муйским, потрясшим 27 июля все Становое нагорье к северо-востоку от Байкала, и 12-балльным Гоби-Алтайским на юге Монголии, волны которого были зафиксированы 4 декабря всеми сейсмостанциями мира. Для оценки последствий Гоби-Алтайского землетрясения по просьбе правительства Монголии была послана группа экспертов из иркутских ученых (Н.А. Флоренсова, В.П. Солоненко и А.А. Трескова), которая вместе с монгольскими коллегами в конце декабря 1957 г. — начале января 1958 г. провела наземное и аэровизуальное обследование всей плейстоценовой области и пришла к выводу об уникальности этого сейсмического события. По постановлению Президиума АН СССР в мае 1958 г. была создана совместная советско-монгольская Гоби-Алтайская экспедиция, базовым для которой был Восточно-Сибирский геологический институт (в 1962 г. переименованный в Институт земной коры) Сибирского отделения АН СССР в Иркутске. Начальником экспедиции был назначен Виктор Прокопьевич, научным руководителем — Н.А. Флоренсов. Таким образом, в 1958 г. В.П. Солоненко стал сотрудником ИЗК СО АН СССР, где он проработал 30 лет — до конца своих дней. «Анализируя весь пройденный путь этого исследователя, неизбежно приходишь к выводу о выдающемся по мировым меркам значении его вклада в науку по соединению геологии и сейсмологии, а также в становление и развитие ИЗК СО РАН», — отмечал академик Н.А. Логачев.

В.П. Солоненко писал: «Детальное изучение палеоценовой области Гоби-Алтайского землетрясения с



Рис. 5. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Слева направо: Л.А. Шимановский, Л.И. Варазашвили, О.Г. Батанова, В.С. Шibaкова, Д.Д. Церетели (ст. Лена, май 1987 г., фото С.Г. Дубейковского)

применением специально проведенной аэрофотосъемки позволило получить не только точный план сейсмодислокаций, но и установить, что при катастрофическом землетрясении в течение нескольких минут образуются все известные в структурной геологии типы разрывных деформаций, а также флексуры, сейсмокупольные, вихревые и другие структурные формы. Кроме того, при этом возникли некоторые типы деформаций,



Рис. 6. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Стоянка поезда в г. Северомуйске. На заднем плане виден Северомуйский хребет (май 1987 г.)



Рис. 7. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Слева направо (анфас): В.С. Шибакова, В.П. Солоненко, А.А. Бухаров, Н.А. Логачев, Е.В. Пиннекер (ст. Лена, май 1987 г., фото из книги [1])

возможность образования которых ранее не подозревалась. Мы здесь имеем в виду клин обрушения с амплитудой вертикального смещения до 328 м, а также срывы и сдвиги вершин гор. В ходе землетрясения хребет Гурбан-Богдо (северная часть Гобийского Алтая) протяженностью 275 км и с высотами до 4000 м поднялся и сдвинулся на восток. Амплитуда видимого вертикального и горизонтального смещения достигала 10 м. Среди сейсмодислокаций ведущее значение имели взбросо-сдвиги, подчиненное положение занимали надвиги, местами выраженные крупными сеймотектоническими рвами, грабены шириной от 800 м до 3,5 км и другие структурные типы. Протяженность главного раз-

лома (Богдо) — 256 км, суммарная длина изученных сейсмодислокаций — 850 км. Довольно редким типом деформаций явились срывы вершин гор. Скол происходил по поверхностям, наклонным под углом 10–15° в сторону от начального эпицентра землетрясения (с запада на восток). Вершины смещались к востоку с некоторым поворотом против часовой стрелки. Диаметр основания смещенных вершин колебался от 100 м до 1,5 км, высота их по вертикали (считая от плоскости сместителя до вершины) — от 50–60 до 350 м. При этом по фронту сорванных вершин возникали надвиговые валы, а по тылу (со стороны эпицентра) — трещины отрыва шириной 10–15 м, а местами и более. Феноменальной оказалась структурная форма Битут — клин обрушения: по системе сбросов часть горы протяженностью несколько более 3 км и шириной 1,1 км опустилась на 328 м. Напряжения, вызванные энергией опускания клина, привели к выдавливанию перед его фронтом меньшего тектонического клина на высоту до 60 м».

Виктор Прокопьевич очень четко описал, какие следы в виде протяженных зон сейсмодислокаций оставляют после себя сильные землетрясения на земной поверхности. Такие признаки особенно заметны и долго сохраняются в открытом рельефе Монголии. И их отыскивали там участники экспедиции. Идеи палеосейсмогеологического метода впервые высказал Н.А. Флоренсов во время именно этой экспедиции в 1958 г. Позднее, в 1960 г., они были соответствующим образом обоснованы и опубликованы. Однако сам Н.А. Флоренсов признавал, что все заслуги по разработке этого метода принадлежат В.П. Солоненко. Начиная с 1962 г. именно статьи Солоненко на эту тему выходят в престижных научных журналах. «Кипучая натура Виктора Прокопьевича, его упорство и настойчивость, исследовательская скрупулезность стали тем сплавом, из которого сформировался палеосейсмогеологический метод», — так пишет его ученик и последователь В.В. Ружич. И делает



Рис. 8. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. В.П. Солоненко перед докладом «Сейсмогеология и сейсмичность Северомуйского тоннеля» (май 1987 г., фото из книги [1])



следующий вывод: «В Советском Союзе в 60-е гг. это был несомненный прорыв в области сейсмологии и сейсморайонирования. Для него потребовались три необходимых условия: сильнейшая сейсмическая катастрофа, идея и незаурядный лидер-организатор, способный протаранить консервативное мышление многих коллег, сложившиеся традиции и мнения авторитетов». Таким лидером в нужное время и в нужном месте и оказался В.П. Солоненко. По результатам работ этой экспедиции в 1963 г. была опубликована упомянутая выше монография «Гоби-Алтайское землетрясение» и ее издание на английском языке, вышедшее в 1965 г. «Потребовалось более двух лет на обработку материалов и написание отчета-монографии, получившей отклик в мире и выведшей ИЗК в лидеры по проблемам сейсмогеотектоники. На исследованиях в Гобийском Алтае у Флоренсова и Солоненко созрела убежденность в возможности определения уровня сейсмической активности по следам, оставленным в структуре и рельефе древними, или “ископаемыми”, землетрясениями. Этот новый для того времени подход, получивший название палеосейсмогеологического метода, был успешно применен Виктор Прокопьевичем и его соратниками при сейсмическом районировании Восточной Сибири и Дальнего Востока», — писал академик Н.А. Логачев. С тех пор на дислокациях Гоби-Алтайского землетрясения с ознакомительными целями побывало много ученых из разных стран, но лишь через 35 лет состоялось повторное изучение полосы сейсмогенных разрывов 1957 г., проведенное российскими, американскими и монгольскими специалистами в 1993–1994 гг.

Вскоре в Институте земной коры была создана структурная ячейка по сейсмологии под руководством В.П. Солоненко, в которую первоначально вошли участники Гоби-Алтайской экспедиции С.Д. Хилько, Р.А. Куррушин, В.М. Жилкин и Н.Ф. Наумов. К началу работ экспедиции на Удокане сейсмогеологическое подразделение оформилось в лабораторию и пополнилось рядом опытных и начинающих специалистов. Вот как вспоминал тот период ее сотрудник В.В. Николаев: «Из многочисленных студентов, которые обучались у Виктора Прокопьевича в госуниверситете, он выбрал наиболее трудолюбивых и перспективных сотрудников, которые прошли с ним “огонь, воду и медные трубы”. Кадры ковались В.П. Солоненко в различных по геодинамическим условиям регионах — Монголии, Прибайкалье, Якутии, Средней Азии, на Кавказе, Становом нагорье, Дальнем Востоке. И после отработки каждого нового полигона появлялись новые монографии, новые идеи, новые диссертации. Костяк экспедиции состоял из молодых, но уже опытных сотрудников, таких как Р.А. Куррушин, О.В. Павлов, С.Д. Хилько, В.С. Хромовских, ставших в дальнейшем ведущими сейсмологами, научными руководителями отдельных тематических исследований и наставниками последующего пополнения экспедиции, а затем и научно-исследовательской лаборатории, заведующим которой был избран В.П. Солоненко (с 4 января 1963 г.) и оставался им до конца жизни. Правда, с 1967 по 1972 г. он, кроме того, занимал должность заместителя директора института по науке».

Академик Н.А. Логачев писал: «По завершении удоканского цикла исследований и издания монографии “Живая тектоника” всем стало ясно, что в Иркутске под



Рис. 9. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. У Северомуйского тоннеля. Слева направо: В.П. Солоненко, Ф.Н. Лешиков, О.В. Павлов (май 1987 г., фото из книги [1])

руководством Солоненко сложилась оригинальная научная школа, нацеленная на изучение внутренних связей сейсмического процесса со структурой, составом и состоянием земных недр. Началась эпоха геологизации сейсмологии, которая продолжалась в течение десятилетия. В 60–70-х гг. главе иркутской школы пришлось затратить немалые усилия, чтобы убедить ведущих ученых Института физики Земли АН СССР — головного учреждения страны по проблемам сейсмичности — в том, что решение теоретических и прикладных задач сейсмологии должно вестись с учетом свойств геологического субстрата. Виктору Прокопьевичу пришлось потратить массу времени на дискуссии и преодоление сопротивления ряда специалистов ИФЗ. Кончилось это тем, что на одном из годовых собраний Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук АН СССР в начале 80-х годов ко мне подошел директор ИФЗ академик Михаил Александрович Садовский и, посетовав



Рис. 10. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Рабочий момент экскурсии в Северомуйский тоннель. В.П. Солоненко и А.М. Лехотинов (май 1987 г., фото из книги [1])

на отсутствие Солоненко (он не участвовал в собрании отделения по болезни), сказал: «Солоненко — единственный, кто стремится проникнуть вглубь сейсмических явлений через их связь с конкретными геологическими условиями. Я сам это понял не сразу, потребовалось время. Прошу передать ему мой привет и просьбу выслать мне его главные работы по проблеме»».

Итак, в 1960-х гг. В.П. Солоненко стал детально заниматься вопросами сейсмичности. Сейсмология и ее ответвления стали средоточием его научных интересов и помыслов, и при этом он продолжал уделять особое внимание геологическим процессам, сопровождающим землетрясения. Виктор Прокопьевич проводил обширный комплекс работ по оценке сейсмической опасности и сейсмическому районированию Восточной Сибири. Для этого он одним из первых предложил использовать не только сейсмостатистические данные, но и геологические материалы. Основываясь именно на таком подходе, В.П. Солоненко совместно с Н.А. Флоренсовым дал прогноз высокой потенциальной сейсмичности Прибайкалья. Этот прогноз подтвердился произошедшими там вскоре сильными землетрясениями (Мондинским в 1950 г., Муйским в 1957 г., Среднебайкальским в 1959 г.), характеризовавшимися интенсивностью 9–10 баллов. Монографии «Среднебайкальское землетрясение 29 августа 1959 г.» (1960 г.), «Катастрофическое Гоби-Алтайское землетрясение 4 декабря 1957 г. Сейсмогеологический очерк» (1960 г.), «Сейсмическое районирование Восточной Сибири» (1963 г.), основным автором которых был В.П. Солоненко, получили общественный резонанс и привлекли внимание к необходимости изучения сейсмичности в Сибири. Карты сейсмического районирования Восточной Сибири, составленные В.П. Солоненко в 1947, 1953, 1956 и 1957 гг., наглядно отражают комплексный подход к обоснованию сейсмической опасности. Работы В.П. Солоненко дали

возможность показать высокую сейсмичную опасность для районов, по которым сейсмостатистические материалы либо совсем отсутствуют, либо не отражают потенциальной сейсмоактивности неотектонических структур.

С накоплением фактических данных методика сейсмического районирования непрерывно совершенствовалась. Академик М.А. Логачев отмечал: «Результаты исследований иркутских сейсмологов, как правило, заканчивались повышением уровня сейсмической опасности той или иной территории, что вызывало иногда открытое, а чаще скрытое сопротивление московских специалистов проектных институтов Госстроя, Минтрансстроя, МПС. В.П. Солоненко пришлось выдерживать много стычек и споров в московских инстанциях, демонстрируя при этом стойкость и непоколебимость в отстаивании выводов и заключений. Некоторые объясняли это упрямством и нежеланием идти навстречу. На самом деле в позиции Солоненко всегда имелись твердый фактологический стержень и убежденность в своей правоте. Негативное отношение некоторых московских специалистов к новым предложениям определялось нежеланием менять технологию проектирования объектов и удорожанием их строительства».

Очень интересно мнение еще одного специалиста — В.В. Ружича: «Понятно, что возникновение и существование в Сибири самостоятельной и самобытной дружины сейсмологов, возглавляемой неуступчивым, одаренным и энергичным лидером, для некоторых других школ, организаций и министерств далеко не всегда было благодатью небесной. Столкновение мнений в оценке сейсмической опасности, в выборе и обосновании методов сейсморайонирования и, наконец, в выводах о том, где можно или нельзя строить важные объекты и коммуникации, напоминали порой военные действия. А воевать Виктор Прокопьевич умел всегда, недаром в военные годы он был высокоавторитетным инженером-геологом. Поэтому сведения о сейсмическом потенциале, дополненные данными, полученными с помощью палеосейсмогеологического метода, стали важным критерием при составлении карт общего и детального сейсмического районирования уже в 60-е гг., и этот вклад позднее полностью оправдал себя, особенно в оценках сейсмической опасности для малоизученной в сейсмическом отношении Восточной Сибири».

Еще в самом начале 1960 г. Виктор Прокопьевич указывал, что современные представления о сейсмичности Восточной Сибири очень быстро могут измениться. Это вскоре и произошло.

В.П. Солоненко был ответственным редактором и основным автором серии следующих монографий, которые освещали строгую последовательность внедрения сейсмогеологических методов в сейсмологию и совершенствования способов и приемов сейсмического районирования и детального сейсмического районирования:

- «Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья» (1966 г.);
- «Сеймотектоника и сейсмичность рифтовой зоны Прибайкалья» (1968 г.);
- «Сеймотектоника и сейсмичность юго-восточной части Восточного Саяна» (1975 г.);
- «Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы» (1977 г.);

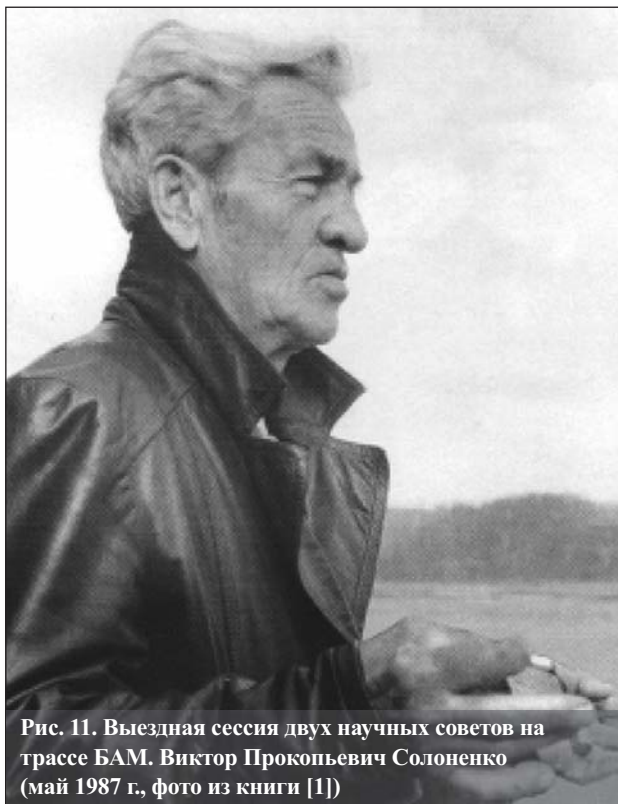


Рис. 11. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Виктор Прокопьевич Солоненко (май 1987 г., фото из книги [1])



Рис. 12. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. У разъезда Бельбукта (места стыковки западного и восточного участков БАМ). Слева направо: Н.А. Логачев, В.П. Солоненко, О.В. Павлов, Е.В. Пиннекер. Крайний справа — А.И. Шеко (май 1987 г., фото из книги [1])

- «Сейсмология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья» (1981 г.).

В те годы в трудах Виктора Прокопьевича сейсмология была одним из главных направлений. Особо следует отметить разработанные им разделы этой науки «инженерная сейсмология» и «сейсмогеокриология».

Многолетние исследования древних и современных землетрясений способствовали накоплению материалов, послуживших основой для построения «Шкалы балльности по сейсмодислокациям», которая наряду с другими шкалами вошла в проект «Усовершенствованной сейсмической шкалы и системы измерений землетрясений».

В.П. Солоненко был первым, кто использовал геологические данные при сейсмическом микрорайонировании отдельных территорий. Он писал: «Результаты инструментального сейсмического районирования в конечном итоге отражают механику грунтов площадки в момент исследования, которая в ходе современного крупного строительства зачастую коренным образом изменяется. Крупные инженерные сооружения не только на себе испытывают влияние грунтовых условий и процессов, но и сами изменяют их, т.е. изменяют сейсмическую опасность строительных площадей. Поэтому при сейсмическом микрорайонировании обязательно нужно учитывать как класс и категорию сооружений, так и особенности взаимодействия системы «грунт с постоянно изменяющимися геотехническими свойствами — сейсмичность — сооружение»».

Исследования Виктора Прокопьевича по изучению Байкальского рифта послужили в дальнейшем основой для оценки сейсмической опасности зоны прохождения БАМ. Практически к началу строительства магистрали им уже была создана карта сейсмического районирования для ее наиболее активного участка и разработан вариант северного (в зоне умеренной сейсмичности) проложения ее трассы, который, к сожалению, не был принят проектировщиками.

В.П. Солоненко и его учениками были проведены палеосейсмогеологические исследования и оценка сейсмической опасности в ряде сейсмоактивных регионов — на Дальнем Востоке, Кавказе, в Средней Азии, Алтае-Саянской области, Северной Корее, Монголии. В монографиях «Палеосейсмология Боль-

шого Кавказа» (1979 г.) и «Сейсмология Монголо-Охотского линеймента» (1979 г.) указывалось, что палеосейсмогеологические данные позволили в ряде регионов серьезно уточнить сейсмический потенциал. Вот как об этом писал академик Н.А. Логачев: «В конце 60-х и в 70-е годы география исследований В.П. Солоненко и его соратников существенно расширяется, охватывая Дальний Восток, Среднюю Азию и Кавказ. В этих новых регионах сейсмологами были получены результаты первостепенного значения, особенно для проектирования и строительства гидротехнических сооружений, таких как Зейская ГЭС и каскад Ингури ГЭС. Позднее в сферу исследований попадают и объекты атомной энергетики — Билибинская и Крымская АЭС, а также планировавшаяся АЭС в Северной Корее. Словом, сейсмогеологические иссле-



Рис. 13. Выездная сессия двух научных советов на трассе БАМ. Осмотр источника термальных вод (май 1987 г., фото С.Г. Дубейковского)

дования иркутян под руководством Солоненко естественным образом оказались широко востребованными и выполнялись главным образом на договорной основе с предприятиями и ведомствами, чем обеспечивалась заметная финансовая подпитка деятельности ИЗК».

О событиях при работе на Кавказе Р.М. Семенов вспоминал: «Несмотря на то что Виктору Прокопьевичу в то время было уже 55, сравниться с ним в преодолении кавказских круч мог далеко не каждый из молодых. Причем в изучении структур он принимал непосредственное участие, не полагаясь на то, что документацию могли сделать и более молодые коллеги. Поражали тщательность и аккуратность дневниковых записей и зарисовок... Виктор Прокопьевич обнаружил структуру Квира, которая находится всего в 15 км восточнее Ингури ГЭС... Он сделал заключение, что сейсмодислокации такого рода могли образоваться при землетрясении не ниже 9 баллов. Трудно себе представить, что произойдет с плотиной, если подобная сейсмическая катастрофа повторится, а при строительстве не будут проведены антисейсмические мероприятия».

Проведенные В.П. Солоненко сейсмогеологические исследования однозначно указали, что ранее принятый для Большого Кавказа верхний уровень сейсмичности, равный 8 баллам по международной сейсмической шкале, или магнитуде 6,75 по шкале Рихтера, был явно занижен. Предстояло отстоять наличие на Кавказе более высокого сейсмического потенциала. Настойчивость Виктора Прокопьевича и приводимые им неоспоримые факты убедили оппонентов в том, что «сейсмический потолок» Кавказа никак не ниже  $M = 7,0$ . Последующие сейсмические события (Спитакское землетрясение 1989 г. с  $M = 7,0$ , Рачинское землетрясение 1990 г. с  $M = 7,1$ ) подтвердили правомерность выводов В.П. Солоненко.

В 1983 г. была издана новая «Карта сейсмического районирования территории СССР» в масштабе 1:5 000 000 — документ государственной важности, в котором были учтены все ранее полученные В.П. Солоненко данные о сейсмичности изученных им районов.

Последней крупной работой коллектива сейсмологов под руководством В.П. Солоненко был заключительный том 8-томного издания «Геология и сейсмичность зоны БАМ» — «Сейсмология и сейсмическое

районирование». Он вобрал в себя результаты исследований живой тектоники и сейсмических условий территорий площадью свыше 15 млн км<sup>2</sup> от северной оконечности озера Байкал до побережья Охотского моря. Он стал итоговым во всей многолетней работе В.П. Солоненко, Института земной коры и организаций-партнеров по уточнению геологических и сейсмических условий строительства Байкало-Амурской магистрали. Этот том дает развернутую сейсмогеологическую картину трассы БАМ и примыкающих к ней территорий на всем 3300-километровом ее протяжении. Работая над данной статьей, я читала эту книгу с неослабевающим интересом. На мой взгляд, она привлекает внимание читателя потому, что является коллективным трудом и все ее авторы — специалисты самого высокого класса, все они участвовали в полевых исследованиях, были ответственными исполнителями по сегментам изучаемой зоны (а научный руководитель, ответственный исполнитель исследований и главный редактор тома В.П. Солоненко работал по всей зоне). Авторам удалось не только написать эту книгу на высокопрофессиональном уровне, но и передать в ней свою увлеченность работой.

Во введении к книге В.П. Солоненко подчеркнул: «Трасса БАМ на участке от Байкальского хребта до р. Олекмы на протяжении около 1100 км проходит в осевой части Байкальского свода по системе кайнозойских впадин байкальского типа. Эта территория является одной из наиболее сейсмоактивных внутриконтинентальных зон Земли и полностью входит в область с уровнем сейсмичности 9 и более баллов при весьма неблагоприятных инженерно-геологических условиях: тектоническая и экзогенная разрушенность скальных пород с жильными льдами, вечная мерзлота с высокольдистыми грунтами и ископаемыми льдами, наледи, термокарст, болота, солифлюкция, оползни, обвалы, лавины, сели, широкое развитие подвижных россыпей (курумов) и т.д.».

В главе «Землетрясения» приведена схема эпицентров сильных землетрясений зоны БАМ и таблица сильных землетрясений по макросейсмическим и инструментальным данным для 160 сейсмических событий. Приводятся также краткие описания некоторых землетрясений, имеющих ту или иную значимость для сейсмического районирования. Ограничусь двумя примерами.



Рис. 14. Лауреаты премии Совета Министров СССР. В.П. Солоненко — второй справа в первом ряду (г. Иркутск, весна 1988 г., фото из книги [1])



1. Великое Восточно-Сибирское землетрясение 1725 г. охватило площадь 4–5 млн км<sup>2</sup>. По макросейсмическим и палеосейсмогеологическим данным его сила достигала 11–12 баллов, магнитуда была не менее 8,3. Была обнаружена появившаяся в результате этого землетрясения система мощных сейсмодислокаций — Чина-Вакатинская структура. Это было редкое и выдающееся сейсмическое событие в зоне БАМ.

2. Муйское землетрясение 27 июня 1957 г. было единственным на территории СССР, отнесенным к классу мировых сейсмических катастроф. Его интенсивность составила 11–12 баллов, магнитуда была равна 7,9. Это землетрясение ощущалось на площади свыше 2 млн км<sup>2</sup>, 8-балльные эффекты отмечались в 150 км, а 6-7 балльные — на расстояниях до 500 км. Сейсмогравитационные явления (оползни, обвалы) наблюдались на площади более 150 тыс. км<sup>2</sup> на эпицентральной дистанции до 350 км (вдоль трассы БАМ — на протяжении примерно 700 км от Верхнеангарского хребта до р. Олекмы). Эпицентральная область была приурочена к Намарокитской эмбриональной впадине байкальского типа (в 30 км восточнее от ст. Куанды и в 60 км юго-западнее Кодарского тоннеля). В результате землетрясения образовалась сложная система сейсмодислокаций общей протяженностью 35 км. Во впадине образовалось озеро Новый Намарокит с первоначальной длиной 3,5 км при ширине 0,6 км. Схему эпицентральной зоны Муйского землетрясения составили В.П. Солоненко и В.А. Авдеев.

Не менее интересен раздел «Сильные землетрясения по палеосейсмогеологическим данным». В зоне БАМ задокументировано 46 палеосейсмогенных структур — следов мощных землетрясений (интенсивностью от 8–9 до 11–12 баллов), данные о которых приведены в данном разделе в отдельной таблице. Самых же таких землетрясений было больше, т.к. некоторые палеосейсмогенные структуры являются не «одноактными», а представляют собой следы 2–6 разновозрастных землетрясений. Если учесть эти данные, то общее число мощных «досейсмостатистических» землетрясений в зоне БАМ — около 60. В качестве примера можно привести структуру Амунда. Ее схема была составлена М.Г. Демьяновичем и В.А. Авдеевым. Система ее дислокаций находится на левом борту Амундской эмбриональной впадины, заложенной вдоль северо-восточного отрезка р. Амунды — правого притока р. Муи — в 40 км от восточного портала Северомуйского тоннеля. Сейсмодислокации структуры представлены рвами и эскарпами. Протяженность рвов — до 500 м, глубина — до 5 м при ширине 8–30 м, разница высот бортов — до 3–4 м. По трассе дислокаций наблюдаются резкие перегибы русел рек с водопадами и каскадом водопадов и сейсмогравитационные формы (обвалы). Эти дислокации деформируют склон, отражаясь на делювиальных отложениях, конусах выноса. В редких случаях отмечены зоны деформаций в коренных породах. Местами по водоразделам отмечаются серии террасированных уступов, сложенных гигантскими глыбами гранитов. По-видимому, их формирование обусловлено смещением скальных блоков под воздействием сейсмических ускорений. Общее направление дислокаций — северо-восточное (65–75°). Параметры системы дислокаций (длина 12 км, амплитуда вертикальных смещений до 3,5 м) могут ха-

рактеризовать плейстоценовую область палеосейсмоземлетрясения интенсивностью до 10 баллов. Многие открытые сейсмогенные геоморфологические формы (рвы, поноры, уступы) поросли кедровым стлаником с максимальным диаметром стволов до 30 см. Стенки отрыва обвалов и их тел существенно эродированы. По этим признакам можно предположить, что возраст сейсмодислокации — не менее 300–400 лет. На примере этой структуры мы можем видеть, как работали сейсмогеологи, какие особенности и признаки они фиксировали и какие результаты получали.

В книге приведены две карты — сеймотектоники и сейсмического районирования зоны БАМ. Их составили В.П. Солоненко, Р.А. Курушин, В.В. Николаев, М.Г. Демьянович, Р.М. Семенов, А.В. Чапизубов, В.С. Хромовских и В.А. Авдеев. Рассмотрев различные трудности методики составления таких карт, В.П. Солоненко подчеркнул, что для сейсмического районирования надежным остается фактический материал — сейсмостатистика, сейсмогеологические данные по полям напряжений, механизму очагов, направлению вспарывания разломов и сейсмогеология (новейшая тектоника, особенно плейстоцен-голоценовый ее этап — «живая тектоника»). Учитывались также конкретные геофизические данные о геоблоках, глубинных разломах и др. Расчетные сейсмогеологические параметры использовались как качественные показатели. При оконтуривании сейсмических районов зоны БАМ использовались средними размерами изосейсмальных площадей. Жаль, что размер журнальной статьи не позволяет привести эти замечательные детальнейшие карты.

В главе «Сейсмология ответственных сооружений» рассмотрены условия строительства наиболее ответственных сооружений на трассе БАМ, а также приводятся результаты сейсмогеологических исследований районов крупных месторождений, ГЭС и других объектов:

- Даванского (Байкальского) тоннеля;
- четырех тоннелей Прижимного участка общей длиной 5,1 км;
- Северомуйского тоннеля (15,3 км);



Рис. 15. Виктор Прокопьевич Солоненко. Последняя фотография (г. Иркутск, весна 1988 г., фото из книги [1])

- Кодарского тоннеля (1,8 км);
- Витимского мостового перехода (9-балльного района);
- Олекминского мостового перехода (9–10-балльной зоны);
- проектируемой Мокской ГЭС на р. Витиме (9-балльного района);
- Зейской ГЭС (с расчетной сейсмичностью 8 баллов);
- Олекминской ГЭС (8-9-балльной зоны);
- Нерюнгринской ГРЭС (с сейсмичностью 7 баллов);
- Удоканского горно-обогательного комбината (ГОК) меднорудного месторождения (с сейсмической опасностью 9 баллов и выше);
- Молодежного ГОК месторождения хризотил-асбеста (с нормативной балльностью более 9);
- Холоднинского сульфидного свинцово-цинкового месторождения (с сейсмической опасностью 8 баллов).

Приведем описание сейсмогеологических условий Северомуйского тоннеля — одного из сложнейших сооружений на трассе БАМ — по В.П. Солоненко. Уже в предварительном заключении об этих условиях в 1972 г. указывалось на высокую сейсмическую опасность района (9–10 баллов и более) и на то, что по ходу проектируемого тоннеля возможны следующие серьезные осложнения для его проходки: наличие пльвунов в гранитах; появление термальных напорных вод в связи с наличием «живых» разломов; перенапряженное состояние гранитов. К сожалению, рекомендации В.П. Солоненко не были услышаны и инженерно-геологическая разведка трассы тоннеля была осуществлена по стандартным нормам (в 1974–1975 гг.). По-видимому, считалось, что инженерно-геологические условия тоннеля весьма просты, т.к. он проходит в гранитах, к тому же с низкотемпературной (ниже минус 9,5°C) мощной (до 1000 м) вечной мерзлотой. В таких условиях не предполагалось встретить рыхлые тектониты, пльвуны, мощные потоки воды, а сейсмичность представлялась проектировщикам несущественной. Однако уже при бурении первых скважин такие представления о мнимом инженерно-геологическом благополучии трассы тоннеля рассеялись. Скважины подтвердили наличие Перевального разлома, практическое отсутствие в его зоне вечной мерзлоты, наличие в гранитах «кармана» песчано-гравийных водонасыщенных отложений (в 0,6–0,9 км от западного портала тоннеля), высокую обводненность гранитов с напорными (фонтанирующими) холодными и термальными водами, связь глубоких трещинных вод с грунтовыми и поверхностными водами, высокую степень насыщенности гранитов разломами и зонами дробления (часто с рыхлыми и иногда пльвунообразующими тектонитами) и т.д. Следовало бы изменить проект изыскательских работ. Но этого сделано не было. Только после начала строительства было начато финансирование сейсмогеологических и геофизических исследований, результаты которых подтвердили прогноз и дополнительно показали следующее.

1. Северомуйская межрифтовая перемычка является участком наивысшей сейсмической активности в Байкальской рифтовой системе, а на ней наиболее активной является зона Перевального разлома.

2. Эта перемычка является своеобразным «сейсмогеологическим водоразделом» (при землетрясениях восточнее нее вспарывание разломов направлено к

востоку, западнее — к западу). Таким образом, Северомуйская перемычка испытывает мощные растягивающие напряжения. Это, с одной стороны, несколько улучшает сейсмическую ситуацию тоннельного участка, так как преобладающая часть сейсмической энергии направляется в сторону вскрытия разрывов, т.е. в сторону от тоннеля. Но с другой стороны, растяжение массива обеспечивает гидравлическую связь разнонаправленных систем трещин, что обуславливает водоприитоки, многократно превышающие первоначально рассчитанные, а при землетрясениях может обусловить «залповые» водоприитоки по трещинам.

3. Выявленная сейсмоактивная Итыкитская зона разлома, пересекающая трассу тоннеля, существование которой ранее ставилось под сомнение, имеет ширину до 1,5 км и амплитуду вертикального смещения 700 м. Она обуславливает очень тяжелые горнотехнические (особенно гидрогеологические) условия.

4. Вся трасса тоннеля находится в зоне возможного возникновения динамических и остаточных сейсмических деформаций при землетрясениях силой 9 баллов и выше. При 9-балльных землетрясениях по разломам возможны остаточные вертикальные смещения до 1–1,2 м, при 10-балльных — до 5–7 м, при 11-балльных — до 12 м с раскрытием трещин до 20 м. При сильных сейсмических событиях на расстоянии до 90 км от тоннеля могут происходить «пассивные» колебания крыльев разломов без заметных остаточных деформаций, но разрушительные для сооружений, в том числе для облицовки и коммуникаций тоннеля.

5. Геофизические наблюдения показали интенсивные движения отдельных тектонических блоков земной коры с изменяющимся знаком, опасные для тоннеля.

В начале настоящей статьи было отмечено, что в мае 1987 г. по программе работы выездной сессии двух научных советов на трассе БАМ состоялась экскурсия в Северомуйский тоннель, в которой я принимала участие. Инициатором ее проведения был В.П. Солоненко, полагавший, что, поскольку в подобных условиях крупный тоннель строится впервые, но не в последний раз, необходимо подытожить его уроки. Экскурсии предшествовал доклад Виктора Прокопьевича «Сейсмология и сейсмичность Северомуйского тоннеля», сделанный накануне на заседании сессии в п. Северомуйске. Присутствовавшие на докладе участники сессии посетили тоннель и ознакомились на месте с условиями его строительства. Мы осматривали керновый материал и выслушивали пояснения В.П. Солоненко. Сейсмичность этого района давно уже оценивалась в 9 и более баллов. Внутри 9-балльной зоны в нем были выделены участки, где возможны землетрясения силой 10–11 баллов. Землетрясения интенсивностью 6 баллов здесь могут происходить раз в 2–3 года, 7 баллов — в 8–10 лет, 8 баллов — в 5 лет, 9 баллов — в 150–170 лет, 10 баллов — в 500–600 лет.

Северомуйский тоннель находился в стадии строительства, но работы были приостановлены в связи с очередной аварией. Дефекты изысканий и проектирования поставили строителей в чрезвычайно сложное положение, т.к. происходили прорывы вод и пльвунов в забои. По инициативе В.П. Солоненко было принято решение о проходке «пионерного тоннеля» (разведочно-дренажной штольни) для перехвата горячих термальных вод и пльвунов, что облегчило условия строи-



тельства. Зоны разломов являлись резервуарами накопления инфильтрационных вод и проводниками восходящих термальных (40–63°C) вод. При вскрытии зон разломов при проходке тоннеля происходили залповые прорывы вод и пльвунообразных масс. Сначала прогнозировался суммарный водоприток до 1000 м<sup>3</sup>, но в дальнейшем он был оценен в 8700 м<sup>3</sup>. Срок завершения строительства тоннеля в 1984 г. оказался нереальным и был отодвинут. Виктор Прокопьевич обосновал необходимость строительства обходного пути, первый поезд по которому прошел в марте 1983 г. и по которому спустя 4 года проехали и мы — участники сессии. В.П. Солоненко подчеркивал: «Дефекты изыскания и проектирования БАМ (особенно Северомуйского тоннеля) должны быть, безусловно, учтены при проектировании новых трасс железных дорог в Сибири, на Дальнем Востоке и Северо-Востоке а также в других высокосейсмических областях СССР». Строительство Северомуйского тоннеля было завершено, и в 2002 г. по нему прошел первый поезд. К сожалению, Виктор Прокопьевич не дожид до этого события.

Завершая обзор работы коллектива авторов под руководством В.П. Солоненко по зоне БАМ, я приведу слова академика Н.А. Логачева: «Эта книга Солоненко и его соратников является наиболее полной и целостной и еще долго сохранит свое значение исходного документа при осуществлении любых крупных инженерно-строительных проектов в этом богатом минеральными и другими природными ресурсами регионе».

Весной 1988 г. за создание 8-томника «Геология и сейсмичность зоны БАМ» 25 участников этой сложной работы стали лауреатами премии Совета Министров СССР. Среди удостоенных этой чести — В.П. Солоненко и его ученики и сподвижники Р.А. Курушин, В.В. Николаев, Р.М. Семенов и В.С. Хромовских. К сожалению, тот год оказался последним в жизни Виктора Прокопьевича, но он смог вместе со всеми порадоваться успеху, который он заслужил в первую очередь, ибо его взнос в общую копилку бамовских исследований был максимальным.

Виктор Прокопьевич был замечательным человеком, и многие его ученики и соратники вспоминают о нем с восхищением, любовью и благодарностью. Приведу один факт, ставший мне известным во время работы над этой статьей от ученого секретаря проблемной комиссии Научного совета Евгении Васильевны Поповой, работавшей в тесном контакте с ИЗК в 70–80-е гг. прошлого века. В конце 1970-х гг. Виктор Прокопьевич не задумываясь безвозмездно передал крупную сумму личных сбережений для оплаты срочной хирургической операции на сердце Владимиру Сергеевичу Хромовских — его ученику и в последующем преемнику лаборатории. За доброе дело жизнь сторицей воздала Солоненко. В конце 80-х гг. под руководством В.С. Хромовских в Южном Прибайкалье был создан полигон и началось изучение сейсмических деформаций в разрезах горных выработок уже известных палеосейсмодислокаций, сопровождавшееся датированием разрывов слоев осадочных пород. Таким образом был ознаменован новый этап в развитии палеосейсмогеологического метода Солоненко. А еще позднее начались исследования по снижению сейсмического риска и ущерба от ожидаемых сильных землетрясений и был намечен путь разработки методов

«мягкой разгрузки» избыточных напряжений в областях подготовки очагов сильных землетрясений.

В.П. Солоненко ушел из жизни 1 июня 1988 г., год спустя после значимой и незабываемой выездной сессии на трассе БАМ. Виктор Прокопьевич оставил о себе память как ученый, который с большой ответственностью доводил до логического завершения решение геологических проблем. И всегда это были проблемы актуальные, высокой научной и народно-хозяйственной значимости. Во всей его деятельности проявлялись широкая научная эрудиция, принципиальность и огромное трудолюбие. Он был автором более 400 научных работ, в том числе 30 монографий, опубликованных в Советском Союзе и за рубежом. Виктор Прокопьевич был одним из самых последовательных противников создания на побережье Байкала крупных промышленных предприятий и отвода их промстоков в р. Иркут. О его работах в Монголии и в таежных малодоступных районах Восточной Сибири ходили легенды.

Закончить свою статью я хочу словами академика Н.А. Логачева: «Виктор Прокопьевич Солоненко — Великий Труженик науки, всегда устремленный в познание сущности геологических процессов и явлений. Он занимался не отвлеченными академическими проблемами, а задачами, выдвигаемыми самой жизнью и логикой развития научного знания».

*Автор выражает искреннюю благодарность сотруднику иркутского Института геохимии СО РАН Н.В. Владыкину, предоставившему изданную сибиряками книгу о Викторе Прокопьевиче Солоненко для ее использования при написании данной статьи, а также сердечно благодарит Н.И. Фролову и Е.В. Попову за сотрудничество в этой работе.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виктор Прокопьевич Солоненко / под ред. В.В. Ружича, Р.В. Семенова. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. 182 с.
2. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмология и сейсмическое районирование / под ред. В.П. Солоненко, М.М. Мандельбаума. Новосибирск: Сибирское отделение изд-ва «Наука», 1985. 190 с.
3. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Инженерная геология и инженерная сейсмология / под ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Сибирское отделение изд-ва «Наука», 1985. 191 с.
4. Солоненко В.П. Военная геология в условиях вечной мерзлоты: учебное пособие для военно-инженерных академий и военно-инженерных школ. М.: Изд-во Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева, 1944. 290 с.
5. Солоненко В.П. Геология месторождений графита Восточной Сибири и Дальнего Востока. М.: Госгеоллиздат, 1951. 384 с.
6. Солоненко В.П. Инженерная геология Иркутской области / Геология СССР. Т. XVII. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1961. С. 442–496.
7. Солоненко В.П. Определение эпицентральных зон сильных землетрясений по геологическим признакам // Известия АН СССР. Сер. Геол. 1962. № 11. С. 63–65.
8. Солоненко В.П. Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири. Иркутск: Иркутское книж. изд-во, 1960. 88 с.
9. Солоненко В.П. Проблемы инженерной сейсмологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 124–130.



# УРОКИ НАВОДНЕНИЙ В КРЫМСКЕ И НА АМУРЕ: МНЕНИЕ ИНЖЕНЕР-ГЕОЛОГОВ

## LESSONS OF THE FLOODS IN KRYMSK AND IN THE AMUR REGION: ENGINEERING GEOLOGISTS' OPINION

### ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., профессор, [trofimov@rector.msu.ru](mailto:trofimov@rector.msu.ru)

### КОРОЛЕВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., [korolev@geol.msu.ru](mailto:korolev@geol.msu.ru)

### TROFIMOV V.T.

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

### KOROLEV V.A.

Professor of the department of engineering and ecological geology of the geological faculty of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), [korolev@geol.msu.ru](mailto:korolev@geol.msu.ru)

#### Ключевые слова:

катастрофическое наводнение; природная катастрофа; инженерная защита; г. Крымск; р. Амур.

#### Key words:

catastrophic flood; natural disaster; engineering protection; Krymsk; Amur River.

#### Аннотация

**В статье анализируются причины и трагические последствия наводнений в Крымском районе 2012 года и на р. Амур 2013 года с точки зрения инженер-геологов. Указывается на огромную роль организации действенных систем инженерной защиты территорий, зданий и сооружений, позволяющих исключить подобные ситуации и снизить ущерб от них. Излагаются рекомендации по защите от аналогичных катастрофических явлений.**

#### Введение

Наводнения являются одними из самых распространенных катастрофических явлений в мире, наносящих огромный материальный ущерб и приводящих к человеческим жертвам. На территории России в целом ряде регионов наводнения случаются регулярно. К таким регионам относятся, в частности, некоторые территории Северного Кавказа и Дальнего Востока (Амурская область, Хабаровский край, Приморье).

Причины наводнений различны. Однако с ними можно успешно бороться с помощью систем инженерной защиты, учитывающих эти различия и специфические инженерно-геологические условия территорий. Между тем в России вопросам инженерной защиты уделяется преступно недостаточное внимание. Катастрофических последствий недавних крупных наводнений в г. Крымске и на р. Амур можно было бы избежать, если бы в этих регионах имелись эффективные комплексные системы инженерной защиты. Анализу причин этих трагедий и урокам, которые необходимо извлечь из них, и посвящена настоящая статья.

#### Abstract

**The causes and tragic consequences of the floods in Krymsk in July 2012 and in the Amur Region in 2013 are analyzed in the article from the point of view of engineering geologists. The authors point out the huge role of organization of effective systems for engineering protection of territories, buildings and structures permitting to avoid such situations and reduce the damage from them. Recommendations for protection against such catastrophic events are given.**

#### Крымская трагедия

В ночь с 6 на 7 июля 2012 года на восточную часть Краснодарского края обрушилась водная стихия — выпало около 300 мм осадков, что по метеорологическим «нормам» соответствует катастрофическим ливням, характерным лишь для тропической зоны Земли. В считанные часы огромные массы воды, скопившиеся на гигантской водосборной площади, сливаясь в многочисленные потоки, пронеслись через населенные пункты, расположенные на востоке Краснодарского края, смывая все на своем пути. Особенно значительное затопление образовалось в Крымском районе. Оно принесло многочисленные разрушения и гибель людей (рис. 1). Но катастрофические последствия испытали



на себе и жители территории Черноморского побережья — от Геленджика до Новороссийска.

Уже через три дня (10 июля) ущерб от этой катастрофы оценивался в 3 триллиона рублей. Официально был зафиксирован 171 погибший. Большая часть жертв относилась к Крымскому району.

Сразу же после этой трагедии во всех средствах массовой информации появилась масса разнородной и порой противоречивой информации о ее причинах. Среди них назывались и возможный сброс воды с расположенных выше водохранилищ, и прорыв защитных дамб на них, и открытие на них шлюзов. Однако ни одна из этих версий не подтвердилась в результате полицейской и прокурорской проверки. Все следственные действия подтвердили главную версию: наводнение носило стихийный характер и было вызвано чрезвычайно большим объемом осадков, выпавших за очень короткий период. 9 июля 2012 г. в России был объявлен национальный траур в память о жертвах этой трагедии.

В ликвидацию последствий включились значительные силы МЧС, бригады волонтеров со всей страны. После этого начались увольнения виновных, судебные процессы, организация компенсационных выплат населению и т.п. Первой жертвой стал уволенный глава Крымского района Краснодарского края. Затем стали искать виновных в недостатках оповещения местных жителей о приближавшей катастрофе, сведения о которой якобы поступили к руководству края 6 июля в 22.00 ч, т.е. за три часа до пика наводнения, разыгравшегося ночью 7 июля в 1.00–4.00. Вслед за этим последовали громкие заявления многочисленных политиков (а не специалистов!) различного уровня о необходимости отставки главы края, об усилении ответственности глав регионов за последствия стихийных бедствий, о реорганизации систем массового оповещения жителей в чрезвычайных ситуациях и т.п.

Однако, на наш взгляд, причинами случившейся трагедии являются совсем иные обстоятельства, рассматриваемые ниже.

## Наводнение на Амуре

В августе 2013 года началось одно из крупнейших за последние сто лет наводнений на р. Амур, охватившее значительные территории Амурской области, Еврейской автономной области и Хабаровского края на протяжении 1,5–1,8 тыс. км вдоль русла реки Амур. Его причины хорошо известны. Наводнения на Амуре не редкость и происходят почти ежегодно после выпадения обильных муссонных дождей, которые начинаются с июля — августа и заканчиваются осенью. Именно они и являются основным источником водного питания этой реки и главным фактором изменения уровня в ее русле. При этом весенний паводок на Амуре, как правило, бывает незначительным и уже к концу мая вода спадает и река входит в свое русло. В период же муссонных дождей она выходит из берегов, затопляя близлежащие территории, населенные пункты, разрушая строения и набережные. При этом ширина разливов Амура достигает до 10–25 км. После разлива вода не сходит до 2,0–2,5 месяца. Во время разливов происходят изменения

в русле реки, в количестве и очертаниях многих островов и устьев притоков.

В июле — августе 2013 года над территорией Амурской области, Хабаровского края и северо-восточного Китая сформировался мощный муссонный циклон, продвижению которого на северо-восток в этом году мешали аномальные погодные условия в более северных регионах России. Произошла сильнейшая блокировка циклона, не давшая ему продвигаться и разгрузиться, как обычно, в Охотском море. Наряду с аномальной циклонической активностью (которую многие гидрологи и климатологи связывают с общей разбалансировкой метеоусловий в Евразии и потеплением климата) причиной сильного наводнения 2013 года стала и очень снежная зима, вызвавшая затянувшееся таяние снега, в результате которого почва и подпочвенные грунты были переувлажнены вплоть до середины лета. Это повлияло на режим подземного стока.

В результате совпадения многих факторов в 2013 году вода в Амуре поднялась на 8–10 м (рис. 2). Уже 7 августа в Амурской области был введен режим чрезвычайной ситуации федерального уровня. В населенных пунктах от Благовещенска до Комсомольска-на-Амуре и Николаевска-на-Амуре были затоплены тысячи домов, прекратилась подача электроэнергии, пострадало около 135 тыс. человек, но обошлось без погибших. Произошло затопление сельхозугодий, на которых пропал весь урожай. Силами МЧС были эвакуированы тысячи жителей. Были срочно построены десятки километров временных защитных дамб (рис. 3), к возведению которых были привлечены многочисленные силы МЧС, военнослужащие и волонтеры.

Ущерб от наводнения оценивается в 30 миллиардов рублей и продолжает уточняться. С уходом воды легче не становится — появляются новые проблемы при полном разрушении коммунальной инфраструктуры, отсутствии питьевого водоснабжения. На ликвидацию последствий наводнения уйдет еще много времени и средств (рис. 4).

## Уроки наводнений

Какие же можно извлечь уроки из крымской трагедии и наводнения на Амуре? Что между ними общего?



Рис. 1. Наводнение в г. Крымске (*yuga.ru*)

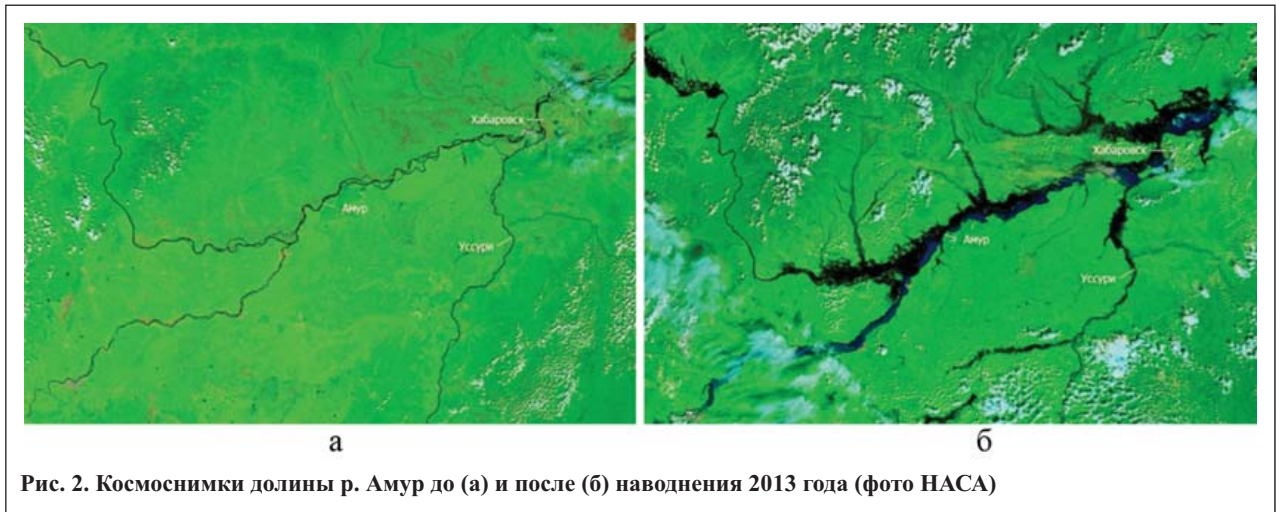


Рис. 2. Космоснимки долины р. Амур до (а) и после (б) наводнения 2013 года (фото НАСА)

**Первый вывод:** стихийные бедствия климатического характера подобного масштаба будут продолжаться в ближайшее время во многих регионах России. Это связано с целым рядом причин как естественного, так и техногенного характера.

К **естественным причинам** следует отнести продолжающиеся многолетние климатические изменения, носящие глобальный и, по-видимому, циклический характер. Следствиями глобального потепления стали интенсивное таяние льдов в Арктике, все чаще случающиеся аномально жаркие летние периоды и аномально снежные зимы. Они влекут за собой разбалансировку циклонической активности от Атлантики до Тихого океана, вызывающей аномально обильные осадки то в одном, то в другом регионе, появление ураганов и торнадо в местах, где они до этого не наблюдались или были чрезвычайно редки.

К сожалению, предсказать подобные погодные аномалии и катастрофические климатические явления, характеризующиеся большой неопределенностью и случайными процессами, ученые пока не могут. Однако из этого совсем не следует, что наука беспомощна в своих прогнозах. Усилиями климатологов, гидрологов, метеорологов и иных специалистов все лучше удается прогнозировать эти опасные процессы, в т.ч. на базе данных многолетнего мониторинга и с помощью моделирования на суперкомпьютерах.

Однако кроме естественных причин подобных метеорологических катастроф, на которые человек пока не может оказывать эффективное влияние, существуют и **техногенные причины**, вполне поддающиеся управлению. К ним относятся воздействия человека на окружающую среду как глобального характера, так и местного, регионального. К глобальным техногенным воздействиям, влияющим на формирование опасных климатических процессов, относятся: (1) загрязнение атмосферы за счет выбросов различных веществ промышленными объектами, автотранспортом, сельскохозяйственными источниками и др.; (2) неконтролируемая вырубка лесов и сокращение площадей тропических лесных ландшафтов (особенно в Южной Америке и Центральной Африке). К сожалению, многие из этих воздействий носят стихийный и пока неконтролируемый характер. Различные сочетания указанных факторов, их взаимное наложение, синергетические эффекты и вызывают аномальные погодные явления.

Кроме того, важнейшими техногенными причинами наводнений и в Крымске, и в долине Амура являются **нарушение поверхностного и подземного стока, отсутствие эффективного дренажа избыточного количества воды**. Неправильная, а часто самовольная застройка территорий по долинам рек и вдоль иных естественных дренажных систем создала препятствия для схода воды и способствовала подтоплению территорий, ведущему к переувлажнению грунтов и иным негативным последствиям.

Но наряду с этим нельзя забывать о том, что с наводнениями можно успешно бороться с помощью соответствующих систем инженерной защиты, которые отсутствовали или были неэффективны как в Крымске, так и в долине Амура. Лишь 22 сентября 2013 г. в средствах массовой информации появилось сообщение о том, что В.В. Путин подписал распоряжение о строительстве в долине Амура системы инженерной защиты, предложения по проектированию которой должны быть разработаны до 30 декабря 2013 года. Он поручил до 1 января 2015 года провести вместе с РАН научные исследования в бассейнах рек Амур, Зeya, Бурея и Уссури. Верное, хотя и запоздалое решение.

Таким образом, из сказанного следует и **второй вывод:** отсутствие надежных комплексных систем инженерной защиты в обоих рассматриваемых слу-

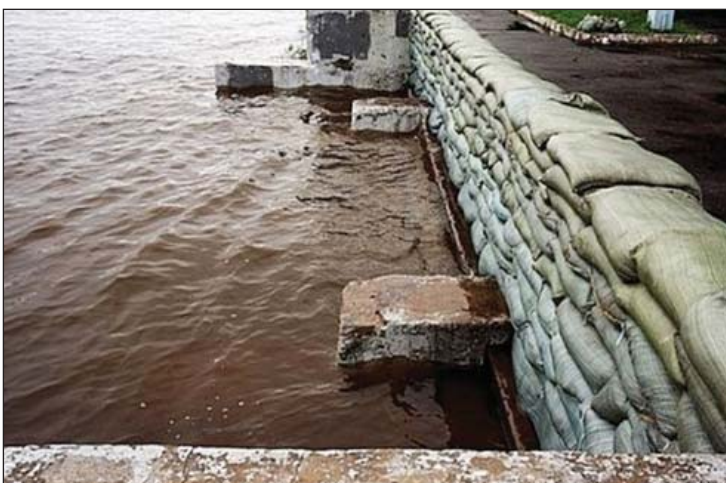


Рис. 3. Защитная дамба на Амуре в 2013 г. (justmedia.ru)



чаях обернулось огромными финансовыми потерями, которых можно было бы избежать, если бы пострадавшие территории были вовремя обеспечены такими системами.

Системы инженерной защиты от наводнений в долинах рек хорошо известны специалистам и успешно действуют в ряде регионов России и в других странах [2]. Их создание должно опираться на стремление к полному регулированию речного стока и на комплексный подход к строительству защитных сооружений — дамб, плотин, каналов и иных дренажных систем.

Но где же до случившегося были руководители местных региональных органов власти? О наводнениях они знали давно, но средств на создание эффективных систем инженерной защиты и в Крымске, и на Амуре не выделялось. Инженерно-геологические изыскания в долине Амура для создания инженерной защиты начались еще в 1950-е годы<sup>1</sup>. Однако до сих пор комплексная, а главное эффективная, система защиты здесь отсутствует. По словам главы МЧС В.А. Пучкова, г. Комсомольск-на-Амуре был защищен дамбой на случай подъема уровня воды лишь до 6 м. Сейчас стоит задача создать дамбы, защищающие город от подъема воды на 9 м.

Между тем выделяемые сейчас Правительством РФ финансовые средства на компенсацию потерь и восстановление жилых зданий существенно перекрывают возможные затраты на возведение защитных сооружений. Только на реконструкцию защитных дамб в Хабаровском крае потребуется около 15–20 млрд руб.

Более того, проявился удивительный непрофессионализм представителей местных администраций, а в ряде случаев и сотрудников МЧС при оценке катастроф, их последствий и организации защитных мероприятий. Примеров тому можно привести много. Наводнение и затопление территорий называлось ими «подтоплением», хотя любому специалисту ясно, что затопление и подтопление — это разные процессы. Такие «оговорки» допускали не только средства массовой информации, но и сотрудники МЧС. Временные защитные дамбы часто возводились из водонепроницаемых мешков, заполненных песком, а не глиной. Как известно, песок прекрасно пропускает воду, в результате чего многие дамбы оказались неэффективными и людские силы на их возведение были потрачены впустую.

В России говорят: «Пока гром не грянет, мужик не перекрестится». Так и с наводнениями: пока они не достигли катастрофического масштаба, надлежащих защитных мер не предпринималось. Например, лишь в конце июня 2013 года правительство Хабаровского края выделило почти 3,5 млн руб. и объявило конкурс на выполнение работ «Инженерная защита левого берега р. Амур в районе г. Хабаровска» на 2013 год. Но было уже поздно...

Отсюда следует **третий вывод**: *местные органы власти в работе по предотвращению указанных сти-*



Рис. 4. Затопленные территории в долине Амура (фото Риты Эшен, «Голос России»)

хийных бедствий должны опираться на специалистов по инженерной защите, инженерно-геологов, гидрологов, гидрогеологов и климатологов, а не уповать на «пожарную команду» из МЧС. Деятельность региональных подразделений МЧС ориентирована на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, но профилактические и защитные мероприятия, как и обслуживание систем инженерной защиты должны находиться в поле зрения местных органов власти.

Инженерной защите территорий и сооружений всегда отводилась огромная роль в работах по предупреждению чрезвычайных ситуаций и профилактике опасных геологических процессов [2, 5]. Тем не менее в последнее время в российских органах власти ее значение явно недооценивается. Особенно опасно то, что оно недооценивается органами местных администраций, в ведении которых находятся регулирование и контроль строительства на местах, а также организациями, эксплуатирующими различные сооружения и жилые здания.

Строительство и эксплуатация инженерных сооружений для защиты от наводнений детально регламентируются рядом нормативных и методических документов [1, 3, 4]. Однако, судя по всему, эти документы остаются неизвестными местным органам власти. Стремление сэкономить деньги на защите территорий при их застройке, пренебрежение нормами инженерной защиты приводят к катастрофическим последствиям и многочисленным человеческим жертвам.

Выделение площадей под застройку на неблагоприятных территориях без сопровождения их системой инженерной защиты от опасных процессов является прямым преступлением против населения.

На наш взгляд, преступное пренебрежение вопросами инженерной защиты территорий и сооружений является прямым следствием снижения со стороны Правительства РФ внимания к инженерной геологии в целом. В рамках инженерной геологии накоплен огромный практический опыт борьбы с опасными геологическими и иными процессами природного и техногенного характера. Однако этот опыт остается невостребованным властями, а о системах инженерной защиты вспоминают лишь после очередной трагедии.

В этой связи можно сделать **четвертый вывод**: *в России необходима федеральная программа по созда-*

<sup>1</sup> Эти исследования, в частности, проводились под руководством Е.М. Сергеева Амурской экспедицией от кафедры грунтоведения и инженерной геологии МГУ им. М.В. Ломоносова.




нию и эксплуатации систем инженерной защиты регионов. Разработка такой программы под силу ответственным инженерам-геологам. Она должна создаваться не силами «пожарной команды» МЧС, а ведущими научно-исследовательскими и научно-производственными инженерно-геологическими организациями страны, внимание к работе которых должно быть повышено со стороны Правительства РФ.

Еще один важный вопрос связан со строительством, главным образом гражданским, в районах потенциального затопления и подтопления, на территориях, заведомо непригодных для жилой застройки. В последние годы, к сожалению, во многих регионах России, особенно в сельской местности, застройка новых территорий часто проводится стихийно и неконтролируемо. «Дачная амнистия» позволяет узаконить строительство жилых домов на неблагоприятных территориях, в т.ч. находящихся в зоне потенциального затопления. В итоге через определенное (иногда длительное) время строения оказываются затопленными при возникновении стихийных паводков. При этом приходится тратить значительные средства на восстановление жилищ, переселение жителей и тому подобные мероприятия. Отказ от ранее существовавших региональных схем территориального планирования и застройки, которые создавались с учетом местных инженерно-геологических условий, всех возможных последствий стихийных бедствий и с организацией комплексных схем инженерной защиты территорий, приводит к вышеотмеченным печальным итогам.

Из этого следует **пятый вывод**: *необходим учет схем территориального планирования застройки, бо-*

*лее строгий контроль местными органами власти освоения новых и застройки старых территорий.*

### **Заключение**

Катастрофических последствий наводнений в Крымске и на Амуре можно было бы избежать, если бы Правительство РФ, местные органы власти уделяли больше внимания вопросам инженерной защиты территорий. Понесенный ущерб от этих катастроф — прямое следствие снижения внимания руководства страны и регионов к роли инженерной геологии в целом. Остается надеяться, что ими будут извлечены уроки из этих событий в соответствии с изложенными выше выводами. 

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ Р 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. М.: Госстандарт России, 1995.
2. *Королев В.А.* Инженерная защита территорий и сооружений: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2013. 470 с.
3. Правила технической эксплуатации сооружений инженерной защиты населенных пунктов. М.: Минстрой России, 1995.
4. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. М.: Госстрой СССР, 1985.
5. *Трофимов В.Т., Королев В.А.* Инженерная защита территорий и сооружений в системе инженерно-экологической защиты // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2012. № 1. С. 49–53.



**Журнал «Инженерная геология»**

стал одним из наиболее востребованных печатных изданий в нашем профессиональном сообществе. Сотрудники редакции постоянно работают над дальнейшим повышением качества журнала. Все статьи проходят рецензирование членами редакционной коллегии и внешними рецензентами, научное и литературное редактирование. Вы, читатели, можете внести свой вклад в развитие журнала, присылая в редакцию свои статьи, подписываясь на «Инженерную геологию».

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

Реклама



## ООО «Геоинсервис»



Нина Викторовна ПРОЦЕНКО  
Директор

Взяв за правило осуществлять свою деятельность на высшем профессиональном уровне, мы стремимся приблизить свой бизнес к совершенству.

Наша компания предлагает Вам честное, открытое и взаимовыгодное сотрудничество! Мы очень требовательно относимся, в первую очередь, к себе. Безупречная репутация, сформированная годами добросовестного труда, для нас превыше всего!

От своих партнеров мы также требуем добросовестного подхода в ведении бизнеса. В сфере инженерных изысканий мы можем назвать себя знатоками своего дела. В нашем коллективе работают профессионалы, высококлассные мастера, образованные, интеллигентные люди, прошедшие сложнейший кастинг. Наш дружный, слаженный коллектив работает вместе на протяжении многих лет.

Не взирая на непостоянство в экономике и прочие трудности, мы полны оптимизма, и верим в лучшее будущее. Мы джентельменски подходим к выполнению своих обязательств и никогда не даем пустых обещаний, не вводим в заблуждение своих клиентов. Мы рассматриваем каждую сделку, как кирпичик для построения мощного многоэтажного здания.

### Виды изысканий:

- Работы в составе инженерно-геологических изысканий;
- Работы в составе инженерно-гидрометеорологических изысканий;
- Работы в составе инженерно-экологических изысканий;
- Работы в составе инженерно-геотехнических изысканий;
- Обследование состояния грунтов основания зданий и сооружений.

### Виды работ:

- Проходка горных выработок с их опробованием, лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов и химических свойств проб подземных вод;
- Изучение опасных геологических и инженерно-геологиче-

ских процессов с разработкой рекомендаций по инженерной защите территории;

- Гидрогеологические исследования;
- Инженерно-геофизические исследования;
- Проходка горных выработок с их опробованием и лабораторные исследования механических свойств грунтов с определением характеристик для конкретных схем расчета оснований фундаментов;
- Определение стандартных механических характеристик грунтов методами статического, динамического и бурового зондирования;
- Специальные исследования характеристик грунтов по отдельным программам для нестандартных, в том числе нелинейных методов расчета оснований фундаментов и конструкций зданий и сооружений.

Свидетельство о допуске к определенному виду или видам работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства №01-И-№0305-2

г. Самара, Проспект Кирова, дом 166, кв. 10  
Тел.: +7 (927) 653-43-13, (846) 956-53-92  
Email: Imp79@mail.ru

# ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАССЫ ГАЗОПРОВОДА БОВАНЕНКОВО — УХТА НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ И СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ

## ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS OF THE BOVANENKOVO — UKHTA MAIN GAS PIPELINE ROUTE IN THE TERRITORY OF THE YAMAL PENINSULA AND THE AREA ZONING SCHEME

### КРЮКОВ А.В.

Начальник Воркутинского линейного производственного управления магистральных газопроводов (ЛПУМГ) ООО «Газпром Трансгаз Ухта», г. Воркута, akriukov@sgp.gazprom.ru

### ГРИВА Г.И.

Главный научный сотрудник Тюменского научного центра СО РАН, д.г.-м.н., г. Тюмень, grivag@mail.ru

### БРУШКОВ А.В.

Заведующий кафедрой геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, brouchkov@hotmail.com

### KRYUKOV A.V.

Head of the Vorkuta Linear Production Agency of Main Gas Pipelines of the ООО «Gazprom Transgaz Ukhta» LLC, Vorkuta, akriukov@sgp.gazprom.ru

### GRIVA G.I.

Principal staff scientist of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), Tyumen, grivag@mail.ru

### BRUSHKOV A.V.

Head of the geocryology department of the geology faculty of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), Moscow, brouchkov@hotmail.com

### Ключевые слова:

полуостров Ямал; система магистральных газопроводов Бованенково — Ухта; инженерно-геокриологические условия; инженерно-геокриологическое районирование.

### Key words:

Yamal Peninsula; Bovanenkovo — Ukhta main gas pipelines system; permafrost conditions; engineering-geocryological zoning.

### Аннотация

В статье рассматриваются геокриологические условия трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта в пределах полуострова Ямал и результаты инженерно-геокриологического районирования изучаемой территории. Эти результаты могут быть использованы для обеспечения эксплуатационной надежности и безаварийной эксплуатации газопровода в уникальных по сложности геокриологических условиях.

### Введение

Ямал является одним из главных резервов нефтегазовой отрасли России в первой половине XXI столетия. На полуострове подготовлена сырьевая база для добычи газа в объеме до 300–330 млрд м<sup>3</sup>/год и жидких углеводородов до 10–15 млн т/год [23]. К настоящему времени сданы в эксплуатацию первоочередные газодобывающие объекты Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) и первая нитка системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта.

По схеме геокриологического районирования [7] Ямал относится к Лескинско-Антипаюгинской подзоне северной зоны континентального региона, граничащей на севере и западе с Карской шельфовой зоной субмаринного региона. Полуостров является областью ступенчатых морских аккумулятивных равнин и сложен отложениями преимущественно морского и прибрежно-морского генезиса. Отличительной чертой его территории является сплошное с поверхности распространение многолетнемерзлых пород с большой льдистостью и засоленностью.

Необходимость изучения геокриологических условий для освоения крупных месторождений углеводородного сырья явилась основанием для инженерно-геологического картирования территории полуострова Ямал [7, 15, 18]. Детальные геокриологические исследова-

### Abstract

The article considers the permafrost conditions of the Bovanenkovo — Ukhta main gas pipeline route in the territory of the Yamal Peninsula and results of engineering-geocryological zoning of this territory. These results can be used to ensure the operational reliability and trouble-free operation of the pipeline in the uniquely difficult permafrost conditions.



дования выполнялись при инженерно-геологических изысканиях под строительство объектов Бованенковского, Харасавейского, Новопортовского месторождений, коридоров коммуникаций между ними и в пределах трасс магистральных газопроводов.

В настоящей работе рассматриваются геокриологические условия трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта и результаты районирования изучаемой территории по этим условиям, которые могут быть использованы для решения важной народно-хозяйственной задачи — обеспечения эксплуатационной надежности и безаварийной эксплуатации объекта, построенного в уникальных по сложности геокриологических условиях.

### Природные условия и геологическое строение территории

Особенности природных условий Ямала определяются его географическим положением в пределах западной части Азии. Климат данного региона умеренно континентальный, переходный к континентальному, с длительной суровой зимой и коротким нежарким летом. Характерная особенность климата — большая ежегодная изменчивость, которая создается взаимодействием западного переноса, преобладающего в умеренных широтах Северного полушария, с континентальными воздушными массами Азии. Средняя годовая температура повсеместно имеет отрицательные значения — от минус 7 до минус 10 °С (табл. 1). Средняя продолжительность безморозного периода составляет 57 дней. Годовые суммы суммарной радиации при средних условиях облачности уменьшаются с юга на север, составляя 83–85 ккал/см<sup>2</sup> в южных частях региона и 67–70 ккал/см<sup>2</sup> в северных. В холодное время характерны юго-западные ветры со средней скоростью 6–8 м/с, сменяемые ветрами холодных вторжений от сибирского антициклона. Годовая сумма осадков в регионе составляет в среднем 380–410 мм.

Максимальной величины снеготпасы достигают в конце апреля (табл. 2).

Территория Ямала представляет собой типичную плоскую в разной степени расчлененную аккумулятивную равнину, абсолютные отметки которой изменяются от 0–2 м на побережье Карского моря и Обской губы до 100–120 м в приуральских районах. Наиболее древние уровни среднеплейстоценового возраста слагают в осевой части Ямала водораздельные равнины с абсолютными отметками от 45–60 до 80–95 м. По периферии полуострова развиты молодые верхнеплейстоценовые и голоценовые террасы с отметками уровней 22–35 и 7–12 м и лайды с отметками 2–5 м. Вся территория Ямала холмистая, в разной степени изрезанная речной и овражной сетью, заболоченная и заозеренная (более чем на 10%). Реки здесь мелководны, имеют меандрирующие русла и широкие дельтообразные устья с несколькими рукавами. На выходе в море они образуют отмели и системы островов. В низовьях большинства рек ощущаются периодические приливно-отливные явления и непериодические сгоны и нагоны. Большинство озер имеет термокарстовое происхождение, они мелководны (глубиной 2–4 м) и располагаются группами. Среди болот распространены преимущественно арктические минеральные и торфяно-минеральные эвтрофные (низинные) болота.

В геоботаническом отношении территория Западного Ямала охватывает подзоны арктических, типичных и кустарничковых тундр [6, 19].

*Подзона арктических тундр* включает в себя несколько типов тундр. Мохово-лишайниковые пятнистые тундры занимают вершины и наветренные склоны холмов.

*Подзона типичных тундр* включает в себя кустарничково-мохово-лишайниковые, кустарничково-моховые, ивняковые моховые и заболоченные ерничково-ивняковые тундры.

*Подзона кустарничковых тундр* характеризуется преобладанием карликовой березы и ив (*Salix glauca*,

Таблица 1

| Средняя месячная и годовая температура воздуха на метеостанциях полуострова Ямал |                         |       |       |       |       |      |     |      |      |     |      |       |       |      |
|--|-------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|-----|------|-------|-------|------|
| Метеостанция   | Период наблюдений (гг.) | Месяц |       |       |       |      |     |      |      |     |      |       |       | Год  |
|  |                         | I     | II    | III   | IV    | V    | VI  | VII  | VIII | IX  | X    | XI    | XII   |      |
| Сеяха  | 1936–2000               | -24,6 | -25,7 | -22,1 | -15,5 | -6,4 | 1,6 | 7,7  | 8,0  | 3,5 | -5,6 | -16,1 | -21,0 | -9,9 |
| Мыс Каменный   | 1950–1994               | -25,0 | -25,8 | -21,1 | -14,6 | -5,9 | 1,8 | 9,0  | 9,9  | 4,6 | -5,5 | -16,2 | -21,2 | -9,2 |
| Новый Порт   | 1936–2000               | -24,5 | -25,0 | -20,4 | -12,8 | -4,8 | 3,7 | 11,6 | 10,2 | 4,6 | -5,1 | -16,2 | -21,3 | -8,3 |
| Мыс Маре-Сале  | 1914–2000               | -20,7 | -21,7 | -19,5 | -12,9 | -5,2 | 1,9 | 7,4  | 6,9  | 3,4 | -3,9 | -12,5 | -18,1 | -7,9 |
| Яр-Сале  | 1936–1994               | -23,8 | -23,8 | -18,9 | -10,9 | -2,9 | 6,9 | 13,7 | 10,9 | 5,2 | -4,7 | -15,4 | -20,7 | -7,0 |

Таблица 2

| Высота снежного покрова на последний день месяца, см |    |    |     |    |    |     |    |    |       |       |      |
|--|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-------|-------|------|
| Метеостанция   | X  | XI | XII | I  | II | III | IV | V  | Сред. | Макс. | Мин. |
| Харасавей  | 9  | 15 | 19  | 22 | 25 | 28  | 30 | 24 | 35    | 48    | 22   |
| Маре-Сале  | 10 | 16 | 18  | 21 | 23 | 24  | 22 | 9  | 28    | 41    | 19   |

Salex lanata). Ерниково-лишайниково-моховые тундры занимают дренированные участки междуречий и террас. На пологих склонах и плоских вершинах холмов междуречий и террас развиты ивняково-моховые тундры. На вершинах холмов встречаются травяно-кустарничковые тундры. Заболоченные пушицево-лишайниково-сфагновые тундры распространены на плоских междуречьях и террасах. Они занимают переходные участки между незаболоченными кустарничковыми тундрами и болотами.

Тундровые почвы отличаются незначительной мощностью деятельного горизонта. Ландшафты имеют низкую теплообеспеченность, избыток влаги, низкую емкость биологического круговорота и слабую активность биологических процессов.

Мерзлые грунты представлены четвертичными отложениями различного генезиса, преимущественно морскими и прибрежно-морскими, значительно реже ледниково-морскими песками, алевритами, суглинками, супесями и глинами с включениями растительных остатков, обломков морской макрофауны, гравия, гальки, валунов. Большая часть разреза четвертичных отложений выделена в ямальскую серию и казанцевскую свиту [13, 14]. Более молодые морские отложения слагают серию верхнеплейстоценовых — голоценовых морских террас. Общая мощность четвертичных отложений не превышает 350–370 м.

*Нижнеплейстоценовые морские отложения ( $mQ_I$ )* залегают на палеогеновых глинах с резко выраженным эрозионным несогласием, вскрыты в интервале глубин 80–170 м, представлены толщей тяжелых и средних плотных суглинков с прослоями песков.

*Среднеплейстоценовые морские и ледниково-морские отложения ( $m, gmQ_{II}^{2-4}$ )* характерны для всей изучаемой территории и на суше залегают ниже уровня моря. Подошва среднеплейстоценовых отложений залегает на абсолютных отметках от минус 50 до минус 120 м, их максимальная мощность не превышает 100 м. Разделение ниже- и среднеплейстоценовых отложений затруднительно, поэтому чаще всего их рассматривают как единую ямальскую серию.

*Верхнеплейстоценовые морские и прибрежно-морские отложения казанцевской свиты ( $m, pmQ_{III}^1$ )* вскрываются на глубине 20–30 м от поверхности и представлены переслаивающимися глинами, суглинками, супеями и песками с преобладанием тонкодисперсных разностей. Мощность казанцевских отложений составляет 30–80 м.

*Верхнеплейстоценовые морские отложения III террасы ( $mQ_{III}^{2-3}$ )* залегают с поверхности в пределах наиболее возвышенных участков водоразделов с абсолютными отметками 25–30 м. Формирование нижних горизонтов относится к каргинскому времени, окончание седиментации приурочено к началу сартанского похолодания. В разрезе прослеживаются две пачки отложений — преимущественно песчаная нижняя и глинистая верхняя. Первая представлена мелкими и пылеватыми песками с линзами и прослоями растительных остатков. Общая мощность отложений, слагающих III морскую террасу, не превышает 20–40 м.

*Верхнеплейстоценовые морские отложения II террасы ( $mQ_{II}^{3-4}$ )* сартанского возраста слагают водораздельные поверхности с абсолютными отметками 15–

20 м. Они имеют наибольшее распространение на трассе газопровода и характеризуются разнообразным составом — переслаивающимися песками, суглинками и глинами с преобладанием тонкодисперсных разностей. Вместе с тем вверх по разрезу нередко возрастает роль песков. Мощность отложений второй террасы — до 12–15 м.

*Голоцен-верхнеплейстоценовые морские отложения I террасы ( $mQ_{I-IV}$ )* слагают поверхности высотой 7–12 м и имеют песчано-глинистый состав, нередко с преобладанием песков в верхней части разреза (до глубины 5–7 м). Их мощность не превышает 10–15 м.

*Голоценовые отложения ( $m, am, a, sd, IbQ_{IV}$ )* представлены морскими и континентальными образованиями. Морские отложения ( $mQ_{IV}$ ) в прибрежной части акватории Карского моря — мелкие и пылеватые пески, супеси, глинистые и суглинистые илы. Разнообразные по генезису континентальные отложения голоцена распространены на Ямале повсеместно. Аллювий пойм рек ( $aQ_{IV}$ ) представлен пылеватыми и мелкими песками, супесями, а в самой верхней части разреза (до глубины 2–4 м) — оторфованными суглинками. Солифлюкционно-делювиальные отложения ( $sdQ_{IV}$ ) практически сплошным чехлом покрывают длинные пологие склоны морских террас. По составу это суглинки и супеси, участками ожелезненные, часто с большим количеством детрита. Их мощность варьирует от 0,5–1,0 м на верхних частях склонов, сложенных песками, до 4–8 м у подножия склонов, сложенных мелкодисперсными грунтами. Озерные отложения ( $IQ_{IV}$ ) распространены локально и слагают днища обширных древних и современных озер, дренированных озерных котловин (хасыреев) и аккумулятивные части озерных террас. Они представлены тяжелыми заиленными суглинками с тонкой ленточной слоистостью, с редкими прослойками супесей и пятнами ожелезнения. Их мощность редко превышает 3–5 м. Биогенные отложения ( $bQ_{IV}$ ) представлены торфом различной степени разложения и имеют локальное распространение на всех геоморфологических уровнях.

Выделение ландшафтов выполнено на основе состава отложений, форм рельефа, почвенно-растительных комплексов и характера увлажнения. В пределах полуострова выделяются следующие виды ландшафтов [3]: ландшафты морских равнин и террас (III, II, I), низких речных террас, поймы, лайды, долин малых водотоков и озерных котловин (хасыреев).

На ландшафтах морских равнин и террас, сложенных песчано-суглинистыми отложениями, преобладают плоские поверхности различной степени дренированности, занятые кустарничковыми и кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами. Значительные площади занимают травяно-моховые болота с фрагментами торфяников. Распространенными криогенными формами являются термокарстовые образования (озера, хасыреи, западины) и полигональный рельеф. Склоны террас, где проявляются термоденудационные процессы (рис. 1), расчленены оврагами и полосами стока, осложнены солифлюкционными террасами, криогенными оползнями скольжения и течения. На пологих склонах широко распространен мелкобугристый или пятнистый микрорельеф, развиты


**Схема инженерно-геокриологического районирования территории размещения системы магистрального газопровода Бованенково — Ухта в пределах полуострова Ямал**

| Инженерно-геокриологические районы   | Инженерно-геокриологические подрайоны   | Инженерно-геокриологические участки   | Краткая характеристика участков (природные микрорайоны)  |
|--|---|---|--|
| I. Верхнечетвертичные прибрежно-морские и морские террасы (осадки до глубины 2–4 м промерзали сингенетически, ниже — эпигенетически) | I-A. Плоские незэродированные или слабо-эродированные поверхности террас (уклон поверхности — менее 1°) | I-A-1. Участки в верхней части разреза сложены преимущественно пылеватými песками, в нижней части — суглинками и глинами. Отложения до глубины 3–4 м льдистые, с ГПЛ*                             | Мелкоочковатый микрорельеф, поверхность относительно дренированная, $t_{cp.} = -5 \div -8,5$ °C, $\xi = 0,8 \div 1,5$ м****  |
|  |   | I-A-2. Участки в верхней части разреза сложены торфом мощностью 0,1–1,5 м, ниже — песками, супесями, суглинками, глинами. Минеральные отложения до глубины 3–4 м льдистые. Характерны ГПЛ и ПЖЛ** | Трещинно-полигональный и остаточнопolygonальный рельеф, поверхность слабодренированная, $t_{cp.} = -5,5 \div -7,5$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,6$ м, мощность ПЖЛ — до 3 м |
|  |   | I-A-3. Участки сложены суглинками, глинами с линзами и прослоями супесей и пылеватых песков. Отложения льдистые до глубины 3–4 м, ниже слабольдистые, с ГПЛ                                       | Мелкоочковатый микрорельеф, поверхность неравномерно дренированная, реже относительно дренированная, $t_{cp.} = -4,5 \div -7$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,8$ м             |
|  |   | I-A-4. Участки сложены песками, суглинками и глинами. Отложения сильнольдистые, характерны БПЛ***   | Мелкоочковатый микрорельеф, поверхность относительно дренированная, $t_{cp.} = -3 \div -6$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,8$ м  |
|  | I-B. Подрайон пологих склонов прибрежно-морских и морских террас (уклон поверхности — от 1,5 до 3°)     | I-B. Участки сложены глинами, суглинками с прослоями и линзами песков. Грунты сильнольдистые, с БПЛ и ГПЛ   | Бугристый и мелкоочковатый микрорельеф, поверхность относительно дренирована, реже хорошо дренирована. $t_{cp.} = -4 \div -7$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,7$ м             |
|  | I-B. Подрайон крутых склонов прибрежно-морских и морских террас. Уклон поверхности более 30.            | I-B. Участки сложены суглинками и глинами с прослоями и линзами песков. Отложения льдистые, характерны БПЛ и ГПЛ  | Бугристый микрорельеф, поверхность дренированная; $t_{cp.} = -2 \div -6$ °C, $\xi = 0,5 \div 1,0$ м  |
| II. Поймы рек и ручьев, сложенные современными аллювиальными отложениями, промерзшими сингенетически                                 | II-A. Подрайон плоских поверхностей современной поймы   | II-A-1. Участки сложены пылеватými песками и супесями, ниже — суглинками. До глубины 3–4 м грунты сильнольдистые, глубже слабольдистые  | Поверхность хорошо дренированная на косах и пляжах, реже неравномерно дренированная, $t_{cp.} = -1,5 \div -4$ °C, $\xi = 0,6 \div 1,2$ м                             |
|  |   | II-A-2. Участки сложены слабозаторфованными в верхней части супесями и суглинками, реже песками. Грунты сильнольдистые до глубины 3–4 м, ниже слабольдистые                                       | Бугристый и мелкоочковатый микрорельеф, поверхность слабодренированная, реже заболоченная, $t_{cp.} = -3 \div -6$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,8$ м                         |
|  |   | II-A-3. Участки сложены суглинками и супесями с прослойками песков, перекрыты торфом мощностью до 1–2 м. Грунты в верхней части сильнольдистые, ниже 3 м льдистые и слабольдистые                 | Трещинно-полигональный и остаточнопolygonальный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -2,5 \div -5$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,6$ м                           |
| III. Озерные котловины, сложенные верхнеплейстоценовыми озерными отложениями промерзшими эпи- и диагенетически                       | III-A. Подрайон хасыреев в пределах морских террас  | III-A-1. Участки сложены слабозаторфованными суглинками, супесями, глинами мощностью от 2 до 10 м, перекрыты маломощным торфом. Отложения сильнольдистые и льдистые, в бортах хасыреев — ГПЛ      | Остаточнопolygonальный и трещиннопolygonальный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -2,0 \div -5,5$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,8$ м                          |
|  | III-B. Подрайон хасыреев в пределах поймы   | III-B-1. Участки сложены слабозаторфованными суглинками, супесями, пылеватými песками мощностью от 2 до 10 м. Отложения сильнольдистые и льдистые   | Кочковатый и трещинно-полигональный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -2 \div -4$ °C, $\xi = 0,4 \div 0,6$ м   |
|  |   | III-B-2. Участки сложены суглинками, супесями, глинами, песками мощностью от 2 до 10 м, перекрыты торфом мощностью до 2,0 м. Грунты сильнольдистые и льдистые, с ПЖЛ                              | Трещинно-полигональный микрорельеф, поверхность заболоченная, $t_{cp.} = -1,5 \div 3,5$ °C, $\xi = 0,3 \div 0,8$ м   |

\* ГПЛ — глубоко залегающие пластовые льды.

\*\* ПЖЛ — повторно-жильные льды.

\*\*\* БПЛ — близко залегающие пластовые льды (БПЛ).

\*\*\*\*  $t_{cp.}$  — среднегодовая температура грунтов;  $\xi$  — глубина сезонного оттаивания.



Рис. 1. Кустарничково-мохово-лишайниковая тундра на аллювиально-морской террасе. На заднем плане — процессы термоденудации склона морской террасы

кустарничково-мохово-лишайниковые тундры. В их нижних частях произрастают мохово-травяные ивняки высотой до 1,0–1,5 м.

*Ландшафты низких речных террас* распространены локально. Дренажированные участки, сложенные песчано-супесчаными грунтами, характеризуются мелкобугристым или пятнистым микрорельефом. На них развиты кустарничково-мохово-лишайниковые тундры (см. рис. 1). Значительную площадь на надпойменных террасах занимают полигональные торфяники. На склонах фрагментарно развиты солифлюкционно-оползневые образования.

*Пойменные ландшафты* также имеют подчиненное распространение. Пониженные участки пойм крупных рек сильно заболочены. Широкое распространение здесь имеют полигональные формы рельефа, преимущественно полигонально-валиковой. Большую часть площади пойм занимают осоково-моховые болота, на валиках преобладают травяно-моховые растительные ассоциации. Характерна высокая заозеренность (рис. 2). Распространенными криогенными образованиями являются полигональные формы рельефа и повторно-жильные льды.

*Лайдовые ландшафты* характеризуются значительной заболоченностью и заозеренностью (более чем на 30–35%). Залегающие с поверхности иловатые пески и супеси содержат линзы криопэггов. Низкие лайды незадернованы, имеют следы волноприбойной деятельности



Рис. 2. Пойменные ландшафты Западного Ямала

ности, изрезаны ручьями и протоками. Высокие лайды являются более дренированными, заросшими кустарничково-моховой и осоково-моховой растительностью. Наиболее характерными для ландшафтов криогенными процессами, играющими ландшафтообразующую роль, являются термокарст, пучение грунтов, термоэрозия и криогенное растрескивание.

*Ландшафты озерных котловин* на морских и надпойменных террасах и на пойме отличаются развитием с поверхности суглинков и супесей, перекрытых слоем торфа мощностью до 1,5 м. Наиболее широко распространены неравномерно дренированные, местами заболоченные поверхности, на которых доминируют травяно-моховые, реже кочковатые кустарничково-моховые болота. На приподнятых дренированных участках развита кустарничково-мохово-лишайниковая тундра. Характерными элементами данных ландшафтов являются бугры пучения, термокарстовые и полигональные образования.

*Долины малых водотоков* на морских и надпойменных террасах имеют, как правило, плоские часто заболоченные днища и склоны различной крутизны, зависящей от глубины вреза. На склонах активно развиваются термоденудационные процессы. Они осложнены солифлюкционно-оползневые образованиями.

### Инженерно-геокриологические условия

Главной особенностью территории трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта является практически сплошное распространение многолетнемерзлых пород (ММП). В мерзлом состоянии находятся даже отложения морских пляжей и кос, бечевников рек, мелководий озер и островов рек [18]. Сплошность ММП с поверхности нарушается несвязными подрусловыми и подозерными таликами, а по разрезу — линзами криопэггов и охлажденными грунтами. Наибольшее распространение имеют водно-тепловые талики, значительно реже встречаются радиационно-тепловые. Первые формируются и существуют под руслами рек с постоянным и сезонным стоком и под озерами, вторые приурочены к локальным участкам речных пойм, днищам логов и ложбин стока.

Среднегодовые температуры ММП изменяются от 0 — минус 1 °С до минус 6 — минус 8 °С. Распределение температур носит сложный характер, что объясняется неоднородностью ландшафтных условий. Наиболее низкими температурами (–6÷–8 °С) отличаются мерзлые породы на возвышенных и лишенных растительности водораздельных участках морских равнин, а наиболее высокими — пойменные участки, где среднегодовая температура может подниматься до минус 3 — минус 4 °С и выше. Для грунтов, слагающих обширные поймы крупных рек и их притоков, характерен широкий диапазон температур, но их фоновое значение на 1,0–1,5 °С выше, чем на террасовых поверхностях. Минимальная температура грунтов (–5÷–6, редко –7 °С) свойственна участкам травяно-сфагновых полигонально-валиковых болот, гривистых пойм, полигональных торфяников. Более высокая температура (–2,5÷–4,5 °С) — на более дренированных пойменных участках, часто занятых ивняками. На



склонах речных и морских террас диапазон среднегодовых температур грунтов составляет минус 1 — минус 8 °С. В нижних частях пологих подветренных склонов, а также в днищах логов, ложбин стока, оврагов, поросших густым ивняком, температура пород повышается до 0 — минус 4 °С.

Наибольшее влияние на глубину оттаивания имеют степень дренированности поверхности и рельеф, определяющие характер увлажнения грунтов, распределение напочвенных покровов и величину инсоляции поверхности.

Наиболее типичная мощность сезонноталого слоя — от 0,3–0,8 м на торфяниках и слабодренированных оторфованных поверхностях водоразделов и пойм с осоково-моховой растительностью до 0,8–1,5 м на дренированных участках водоразделов и пологих склонах террас с кустарничково-мохово-лишайниковой растительностью.

Эпигенетическими мерзлыми породами сложены многие геоморфологические уровни средне- и верхнеплейстоценового возраста, но в центральной части полуострова они наблюдаются лишь в пределах салехардской и казанцевской морских равнин и местами слагают нижнюю часть разрезов морских и лагунно-морских террас [18]. На территории Бованенковского месторождения эпигенетические мерзлые толщи с поверхности развиты локально на останцах III морской террасы. На остальной части территории они подстилают сингенетические мерзлые отложения. Криогенное строение и льдонасыщенность эпигенетических мерзлых толщ характеризуются большим разнообразием и изменчивостью. Наиболее льдистыми являются грунты в приповерхностном слое годовых колебаний температур.

Главные отличительные признаки разрезов эпигенетических толщ Бованенковского НГКМ — большая льдонасыщенность глинистых пород ( $I_i=0,3\div 0,8$ ) и ее увеличение при приближении к пласту льда. Мощность льдистого горизонта глинистых грунтов в кровле ледяных пластов в районе Бованенковского НГКМ изменяется от 1 до 14 м, наиболее часто (в 25% случаев определений) ее значение составляет 2–4 м. Изменчивость влажности песчаных пород, подстилающих пластовые льды, значительна: величина среднеарифметической влажности  $W$  по 93 пробам изменяется в диапазоне 23–70%, причем выделяются два пика наибольшей повторяемости ее значений. Первый пик ( $W=23\div 30\%$ ) охватывает около 35% всех определений и соответствует мелким пескам базально-массивной криогенной текстуры, а второй ( $W=40\div 60\%$ ) охватывает основную часть определений (около 60%) и соответствует пылеватым пескам со шлировыми текстурами.

Сингенетические мерзлые породы распространены преимущественно к северу от долины реки Юрибей. Для современных сингенетических ММП наиболее характерно широкое распространение сегрегационного и полигонально-жильного льдов. Объемная льдистость таких пород изменяется от 30 до 50%, а степень заполнения пор льдом и незамерзшей водой — от 0,7 до 1,0. При оттаивании такие грунты разжижаются. Верхнеплейстоцен-голоценовые аллювиальные отложения, слагающие надпойменные террасы в

долинах рек, характеризуются однородностью состава и криогенного строения. Весь разрез отложений надпойменных террас представляет чередование более и менее льдонасыщенных горизонтов, мощность которых достигает 1,5 м. Объемная льдистость чистых песков составляет 40–55%, в пылеватых песках и супесях она возрастает до 45–55%, а местами и более. Шире всего распространены сингенетические мерзлые аллювиальные отложения, слагающие поймы рек. Наиболее льдонасыщенными являются суглинки и глины, слагающие внутреннюю плохо дренируемую пойму. Особенно большой льдистостью до глубины 2–4 м характеризуются разрезы, сложенные оторфованными озерными суглинками. Льдистость таких грунтов превышает 0,4, их криотекстура является атакситовой слоистой сетчатой. Делювиально-солифлюкционные отложения верхнеплейстоцен-голоценового возраста характеризуются высокой льдистостью по всему разрезу. В широком диапазоне изменяется льдистость отложений за счет ледяных включений ( $I_i=0,3\div 0,6$ ).

Крупные скопления подземного льда в верхней части разреза мерзлых пород полуострова оказывают определяющее влияние на инженерно-геологические условия территории месторождений углеводородного сырья и газотранспортных систем. Льды развиты в отложениях всех стратиграфо-генетических горизонтов плейстоцен-голоценового возраста. По данным бурения, электроразведки и наблюдений в обнажениях ледяные тела прослеживаются как в разрезах морских и надпойменных речных террас, так и под аллювием современных пойм рек. Основная часть выявленных пластовых залежей льда сосредоточена в верхнем 50-метровом горизонте мерзлой толщи. Кровля ледяных тел располагается на разных глубинах — от первых метров до 20–40 м. В местах неглубокого залегания пластовые льды уязвимы для термоденудации и представляют угрозу трубопроводу и сооружениям инфраструктуры. Площадь отдельных залежей льда может достигать 5–7 км<sup>2</sup>, их мощность доходит до 30–45 м, а объем может превышать 200–250 млн м<sup>3</sup>. Характер залегания пластовых льдов в отложениях III морской террасы (по данным бурения) представлен на рис. 3.

Инженерно-геологическое значение пластовых льдов определяется их значительными размерами и приповерхностным залеганием, что определяет их особую чувствительность к техногенным воздействиям и колебаниям климата. По данным ОАО «ПНИИИС», статистика распределения мощности пластовых льдов на территории Бованенковского месторождения выглядит следующим образом: в 15% случаев она превышает 15 м; в 38% — варьирует от 15 до 5 м; в 47% — составляет менее 5 м. Таким образом, в 53% случаев зафиксированная толщина льда превышает 5 м. В пределах газотранспортной системы средняя глубина залегания их кровли колеблется от 1,48 м на хасыряях до 5,25 м на речных террасах, т.е. они уязвимы для термоденудации и могут представлять серьезную угрозу инженерным сооружениям.

Повторно-жильные льды также занимают большие площади на всех геоморфологических уровнях. Жилы льда залегают, как правило, непосредственно под

слоем сезонного протаивания. В современных пойменных, лайдовых и болотных осадках мощность повторно-жильных льдов составляет 2–4 м, реже до 8–10 м, их ширина поверху — 1–2 м. Неразвивающиеся сингенетические повторно-жильные льды приурочены в основном к морским верхнеплейстоценовым отложениям. Глубина залегания этих жил колеблется в пределах 2–5 м, местами толща перекрывающих их отложений достигает 8–10 м. Наиболее крупные сингенетические жилы льда развиты в торфяно-минеральных массивах. Высота этих жил достигает 8–15 м, ширина поверху — 2–4 м (редко более), объемная макрольдистость — 20–35%. В супесях и песках высота жил составляет 2–7 м (реже до 10 м), ширина поверху — 0,5–2,5 м, объемная макрольдистость — 3–10%. Широкое распространение повторно-жильных льдов определяет сложность инженерно-геологических условий трассы трубопровода.

Засоление грунтов криогенной толщи относится к морскому типу и связано с развитием плейстоценовых и голоценовых морских трансгрессий, которые сопровождалось накоплением осадков с солеными иловыми водами и инфильтрацией морских вод в слабо литифицированные дисперсные породы.

Засоленность грунтов существенно влияет на температуру их замерзания, фазовый состав влаги, деформационные и прочностные свойства. Кроме того, засоленные грунты оказывают активное коррозионное воздействие на металлические и железобетонные конструкции. В пределах трассы трубопровода морские породы засолены по всему разрезу. Их засоленность составляет 0,5–1,5%, реже до 2,5%. Особо следует сказать о засоленности мерзлых пород в районе Байдарацкой губы. Наибольшим засолением характеризуются грунты низкой лайды и устьевых частей рек, заливаемых в нагоны и приливы морской водой. Здесь практически от поверхности под сезонноталым слоем или захватывая его залегают сильнозасоленные мерзлые и охлажденные грунты с содержанием солей до 4%. Средние значения засоленности глинистых грунтов составляют 2,1%, мерзлых песков — 0,3%, охлажденных — 1,0–1,6%.

Криопэги в толще засоленных мерзлых пород содержатся в виде изолированных линз различной мощности. Большинство криопэгов сосредоточено в разрезах пойм рек, реже они встречаются в отложениях морских террас. Химический состав солей в рассолах — хлоридно-натриевый.

## Районирование территории по инженерно-геокриологическим условиям

Характерной чертой территории размещения объектов транспорта газа на Ямале является крайняя пространственная неоднородность геоэкологических и инженерно-геокриологических условий, связанная с такими факторами, как: значительная протяженность трасс магистральных газопроводов в субмеридиональном направлении; пересечение тектонических структур разных (I–IV) порядков с различными геодинамическими условиями и направленностью неотектонических движений; пересечение разных геоморфо-логических уровней с различными стратиграфо-генетическими комплексами отложений.

Схема инженерно-геокриологического районирования, представленная в виде табл. 3, составлена на основе схемы районирования, выполненного ОАО «ПНИИИС» [3]. Она представляет собой комплексный анализ ландшафтно-индикационных, геолого-геоморфологических и криолитологических компонентов природной среды. Геокриологическая информация соотнесена с определенными ландшафтными комплексами, выделенными с учетом геоморфологического уровня, уклона поверхности, микрорельефа, растительности, дренированности территории.

## Заключение

Рассмотренная в настоящей работе проблема инженерно-геокриологического районирования является необходимой частью решения важной народно-хозяйственной и актуальной научной задачи — научно-методического обеспечения безаварийной эксплуатации газотранспортных систем в уникальных по сложности геокриологических условиях полуострова Ямал. Решение этой задачи возможно на основе комплексного анализа состояния многолетнемерзлых пород данной территории, оценки их изменений и прогноза геокриологических условий при промышленном освоении и разработке мероприятий по контролю состояния мерзлых оснований в процессе строительства и эксплуатации объектов магистрального транспорта газа.

Территория трассы системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта уникальна по сложности геокриологической обстановки, аналогам которой на разведанных площадях других нефтегазоносных

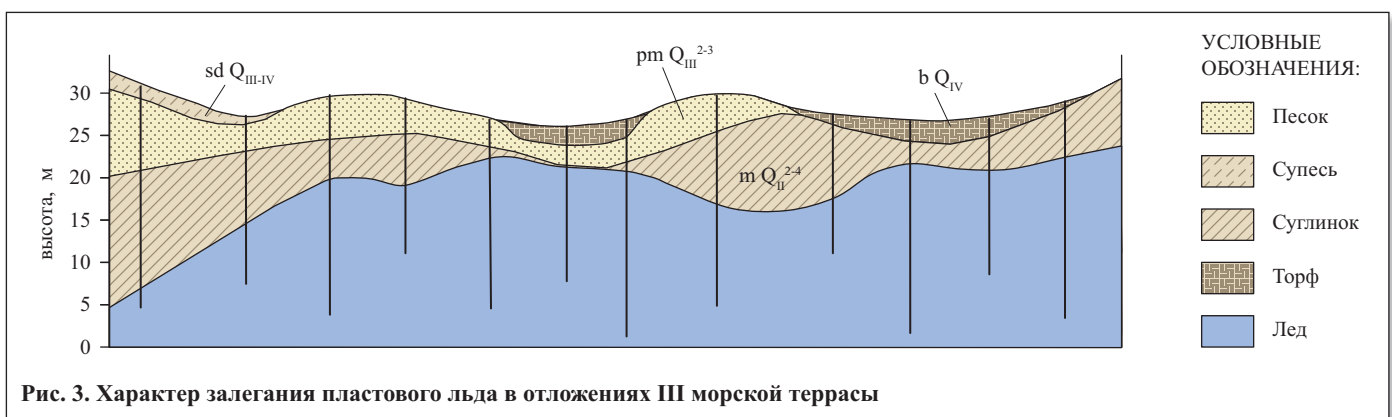



Рис. 3. Характер залегания пластового льда в отложениях III морской террасы



областей севера Западной Сибири не существует. Современные условия, свойства и состояние ММП данной территории определяются мерзлотно-фациальными условиями осадконакопления и историей ее развития в плейстоцен-голоценовое время. Отличительными особенностями инженерно-геокриологических условий, определяющими несущую способность оснований, являются: сплошное распространение ММП с сильнольдистыми грунтами в верхней части разреза; неоднородность и динамичность теплового состояния верхних горизонтов ММП; широкое развитие полигенетических подземных льдов; засоленность мерзлых пород и наличие криопэгов с высокой коррозионной агрессивностью; низкие деформационно-прочност-

ные свойства и пространственная неоднородность физико-механических свойств грунтов оснований, связанная с разнообразием состава, льдистости, засоленности и температурного режима пород.

Выполненное районирование инженерно-геокриологических условий рассматриваемой территории было использовано для оптимизации трассы первой нитки газопровода Бованенково — Ухта в процессе проектирования данного объекта, организации системы геотехнического мониторинга при его строительстве и будет использовано в дальнейшем для обоснования мероприятий, обеспечивающих безаварийную работу газотранспортной системы в процессе ее эксплуатации. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипов С.А., Волкова В.С.* Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1994. 105 с.
2. *Баулин В.В., Аксенов В.И., Дубиков Г.И. и др.* Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. 2: Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 1996. 240 с.
3. *Баулин В.В., Дубиков Г.И., Аксенов В.И. и др.* Геокриологические условия Харасавэйского и Крузенштерновского газоконденсатных месторождений (полуостров Ямал). М.: ГЕОС, 2003. 180 с.
4. *Брушков А.В.* Засоленные мерзлые породы Арктического побережья, их происхождение и свойства. М.: Изд-во МГУ, 1998. 332 с.
5. *Воскресенский К.С.* Современные темпы денудации равнин криолитозоны // *Геоэкология Севера*. М.: Изд-во МГУ, 1992. С. 83–94.
6. *Гвоздецкий Н.А., Кривошукский А.Е., Макунина А.А. и др.* Физико-географическое районирование Тюменской области. М.: Изд-во МГУ, 1973. 246 с.
7. *Геокриология СССР*. Т. 2: Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 454 с.
8. *Грива Г.И.* Геоэкологические условия разработки газовых месторождений Ямала. Томск: Изд-во ТГУ, 2005. 330 с.
9. *Григорьев Н.Ф.* Криолитозона прибрежной части Западного Ямала. Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1987. 112 с.
10. *Данилов И.Д.* Плейстоцен морских субарктических равнин. М.: Изд-во МГУ, 1978. 198 с.
11. *Дубиков Г.И., Баду Ю.Б., Иванова Н.В.* Состав и строение криогенной толщи на Западном Ямале // *Лабораторные и полевые исследования мерзлых грунтов и льдов: сборник научных трудов ПНИИИС / под ред. В.В. Баулина и др.* М.: Стройиздат, 1986. 119 с.
12. *Ершов Э.Д.* Общая геокриология. М.: Недра, 1990. 559 с.
13. *Лазуков Г.И.* Антропоген северной половины Западной Сибири (стратиграфия). М.: Изд-во МГУ, 1970. 321 с.
14. *Лазуков Г.И.* Этапы плейстоценового осадконакопления в пределах Западно-Сибирской равнины // *Природные условия Западной Сибири*. М.: Недра, 1971.
15. *Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др.* Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. М.: Наука, 1983. 165 с.
16. *Павлов А.В., Ананьева Г.В.* Современные изменения климата и криолитозоны в нефтегазоносных районах севера России // *Криосфера Земли*. 2005. Т. 9. № 1. С. 89–95.
17. *Пармузин С.Ю., Суходольский С.Е.* Пластовые льды Среднего Ямала и их роль в формировании рельефа // *Пластовые льды криолитозоны*. Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1982. С. 51–61.
18. *Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк) / под ред. В.Т. Трофимова*. М.: Изд-во МГУ, 1975. 278 с.
19. *Природная среда Ямала*. Т.2. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 1995. 102 с.
20. *Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал — Центр*. М.: ГЕОС, 1997. 432 с.
21. *Романовский Н.Н.* Основы криогенеза литосферы. М.: Изд-во МГУ, 1993. 336 с.
22. *Сакс В.Н.* Четвертичный период в Советской Арктике // *Труды НИИГА*. Л. — М.: Изд-во Министерства морского и речного флота, 1953. Т. 77. 627 с.
23. *Скоробогатов В.А., Строганов Л.В., Конев В.Д.* Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М.: Недра, 2003. 352 с.
24. *Фотиев С.М.* Типизация таликов Ямала // *Геоэкология*. 1996. № 6. С. 65–73.
25. *Шаманова И.И., Уваркин Ю.Т.* Зональные особенности подоцерных таликов на севере Западной Сибири // *Труды ПНИИИС*. Вып. 29: Геокриологические исследования при инженерных изысканиях. М.: Стройиздат, 1974. С. 70–83.
26. *Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты / под ред. В.Т. Трофимова*. М.: Изд-во МГУ, 1986. 246 с.
27. *Эрозионные процессы Центрального Ямала / под ред. А.Ю. Сидорчука, А.В. Баранова*. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 350 с.
28. *Brouchkov A., Griva G.* Pipelines on Russian North: review of problem of interaction with permafrost // *Research Journal of Hokkaido University*. 2004. V. 66. № 2. P. 241–249.
29. *Nelson F.E., Anisimov O.A.* Permafrost distribution in the Northern Hemisphere under scenarios of climatic change // *Global and Planetary Change*. 1996. V. 14. № 1–2. P. 59–72.
30. *Pavlov A.V.* Active layer monitoring in northern West Siberia // *Proceedings of the 7th International Conference on Permafrost* (ed. by A.G. Lewkowicz, M. Allard). Nordicana, Yellowknife, Canada: Laval University Press, 1998. P. 875–881.

# КАРБОНАТНЫЙ ЭЛЮВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ г. КАЗАНИ

## CARBONATE ELUVIUM IN THE KAZAN CITY AREA

### МУРАВЬЕВ Ф.А.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии  
Института геологии и нефтегазовых технологий (ИГиНГТ)  
Казанского (Приволжского) федерального университета  
(КФУ), к.г.-м.н., г. Казань, Россия,  
fedor.mouraviev@yandex.ru

### ЖАРКОВА Н.И.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии ИГиНГТ  
КФУ, к.г.-м.н., г. Казань, kazannad@rambler.ru

### ЛАТЫПОВ А.И.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии  
ИГиНГТ КФУ, к.т.н., г. Казань, airatlat@mail.ru

### MOURAVIEV F.A.

Associate professor of the department of general geology and hydrogeology of the Institute  
of Geology and Oil-and-Gas Technologies of the Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), fedor.mouraviev@yandex.ru

### ZHARKOVA N.I.

Associate professor of the department of general geology and hydrogeology of the Institute  
of Geology and Oil-and-Gas Technologies of the Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), kazannad@rambler.ru

### LATYPOV A.I.

Associate professor of the department of general geology and hydrogeology of the Institute  
of Geology and Oil-and-Gas Technologies of the Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, PhD (candidate of science in Technics), airatlat@mail.ru

### Ключевые слова:

карбонатный элювий; физико-механические свойства грунтов;  
пермские отложения; доломит; трехосные испытания;  
суффозия; карстовые и суффозионные процессы.

### Key words:

carbonate eluvium; physical-mechanical properties of soils;  
Permian deposits; dolomite; triaxial compression tests; suffusion;  
karst and suffusion processes.

### Аннотация

Проведено картирование территории г. Казани по мощности и глубине залегания кровли карбонатного элювия. Представлены результаты исследования литолого-минералогических, физических и физико-механических свойств этих отложений, отобранных в одной из скважин с глубин 50–120 м. Показано, что состав и свойства карбонатного элювия определяются геологической историей его формирования, а наиболее устойчивым минералом в его составе является доломит. Указано, что оптимальным методом лабораторных испытаний данного грунта является трехосное сжатие, причем схема испытания должна выбираться в зависимости от доли присутствующего в нем древесново-щебнистого материала. Рекомендовано при изысканиях в районах развития карбонатного элювия уточнять результаты лабораторных исследований, используя данные полевых испытаний. Приведены примеры опасных геологических процессов на территориях с неглубоким залеганием карбонатного элювия.

### Abstract

The burial depths and thickness of carbonate eluvium are mapped in the Kazan city area. Results of investigation of the lithological, mineralogical, physical and mechanical properties of these deposits sampled from one of the boreholes at the depths of 50-120 m are presented. It is shown that the composition and properties of carbonate eluvium are determined by the geological history of its forming, the most stable mineral in its composition is dolomite. It is pointed out that the optimal method of laboratory investigation of this soil is triaxial compression testing and the test pattern is chosen according to the proportion of coarse-grained material in it. The authors recommend to improve laboratory test results using field testing data for engineering geological surveys in carbonate eluvium areas. Some examples of dangerous geological processes in the areas of shallow bedding of carbonate eluvium are given.

### Введение

Широкое распространение карбонатного элювия, относимого к особому типу грунтов, на территории г. Казани и интенсивное освоение геологической среды в последние годы обусловили необходимость выработки оптимальных методов исследования этих отложений. Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена увеличивающимися объемами строительства, связанными с освоением подземного пространства (строительством метрополитена, паркингов, тоннелей, переходов и др.), возведением высотных зданий со сложными конструктивными решениями фундаментов, расширением границ города.

При инженерных изысканиях, проводимых на различную глубину в г. Казани, инженеры-геологи по-разному подходят к диагностике и физико-механическим испытаниям карбонатного элювия. Большинство исследователей описывают его как скальный грунт (доломит, известняк), приводя в качестве прочностных характеристик лишь предел его прочности на одноосное сжатие. Другая часть инженеров-геологов диагностирует карбонатный элювий как «карбонатно-глинистую муку» и использует методики, применяемые при исследованиях дисперсных грунтов, такие как компрессионное сжатие или одноплоскостной срез. При этом неясно, каким образом удастся изготовить образцы небольших размеров из монолитов, содержащих большое количество включений обломков карбонатных пород, и как оценивается влияние этих включений на получаемые результаты.

В задачи настоящего исследования входило получение новых более детальных данных относительно распространения, мощности, условий залегания, состава и деформационно-прочностных свойств карбонатного элювия на территории г. Казани.



## Геолого-гидрогеологические условия

Исследуемая территория расположена на востоке Русской платформы в пределах Волго-Уральской антеклизы. Ее геологическое строение характеризуется развитием мощного палеозойского осадочного чехла, в верхней части которого развит комплекс преимущественно морских отложений пермской системы.

Отложения сакмарского яруса нижней перми ( $P_1s$ ) представлены переслаивающимися загипсованными доломитами и гипсами с редкими прослоями песчаников и алевролитов (мощностью от 80 до 115 м). Выше с размывом залегают отложения казанского ( $P_2kz$ ) и уржумского ( $P_2ur$ ) ярусов средней перми. Карбонатные породы представлены мергелями, известковистыми доломитами и доломитизированными известняками, большей частью органогенными, иногда окремнелыми. Карбонатные пачки мощностью от долей до первых десятков метров преобладают в средней части отдела, чередуясь с терригенными пачками (песчаников, алевролитов, глин) [2].

Пермские отложения образуют серию плакантиклиналей северо-западного простирания с амплитудой до 80 м, на крыльях которых породы характеризуются повышенной трещиноватостью, часто разрушенностью до дисперсного состояния. Более того, отложения уржумского яруса ( $P_2ur$ ), а также значительная часть отложений верхнеказанского подъяруса ( $P_2kz_2$ ) размывы в результате эрозии при формировании неоген-четвертичных долин рек Волги, Казанки и их притоков. Верхнеказанские ( $P_2kz_2$ ) преимущественно карбонатные пачки, а также терригенно-карбонатная толща уржумского яруса ( $P_2ur$ ) частично сохранились лишь в пределах восточного коренного берега Волги, а также на

крыльях плакантиклиналей, где их суммарная мощность не превышает 130 м (рис. 1) [7].

На дислоцированной и элюзированной поверхности размыва пермских пород залегают сложнопостроенный комплекс погребенных плиоценовых долин ( $N_2$ ) и четвертичных аллювиальных террас р. Волги и ее притоков (аQ). В большинстве случаев неоген-четвертичные отложения представлены песками различной крупности, супесями, суглинками и глинами. Максимальная мощность неоген-четвертичных отложений составляет около 180 м. Такие мощности характерны для осевой части плиоценовых врезов ( $N_2$ ), перекрытых аллювиальными супесчано-суглинистыми отложениями нижнего и среднего плейстоцена (аQ<sub>1-2</sub>).

В зоне активного водообмена выделяют следующие гидростратиграфические подразделения: водоносный (локально слабодоносный) четвертичный аллювиальный комплекс, водоносный плиоценовый аллювиальный комплекс, водонепроницаемый локально слабодоносный уржумский терригенный комплекс, водоносный казанский терригенно-карбонатный комплекс, водоносная сакмарская карбонатно-сульфатная серия. Из-за наличия глубоких плиоценовых врезов в зоне активного водообмена первые четыре комплекса образуют единую гидродинамическую систему. Воды — безнапорные, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые, с минерализацией 0,3–0,7 г/дм<sup>3</sup>, в местах восходящей разгрузки нижнепермских вод (на крыльях антиклиналей, в тальвегах палеодолин) — от сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевых до сульфатно-кальциевых с минерализацией 1,5–2,0 г/дм<sup>3</sup>. Подземные воды водоносной сакмарской карбонатно-сульфатной серии — локально напорные, сульфатно-кальциевые, с минерализацией 1,5–2,7 г/дм<sup>3</sup> [2].

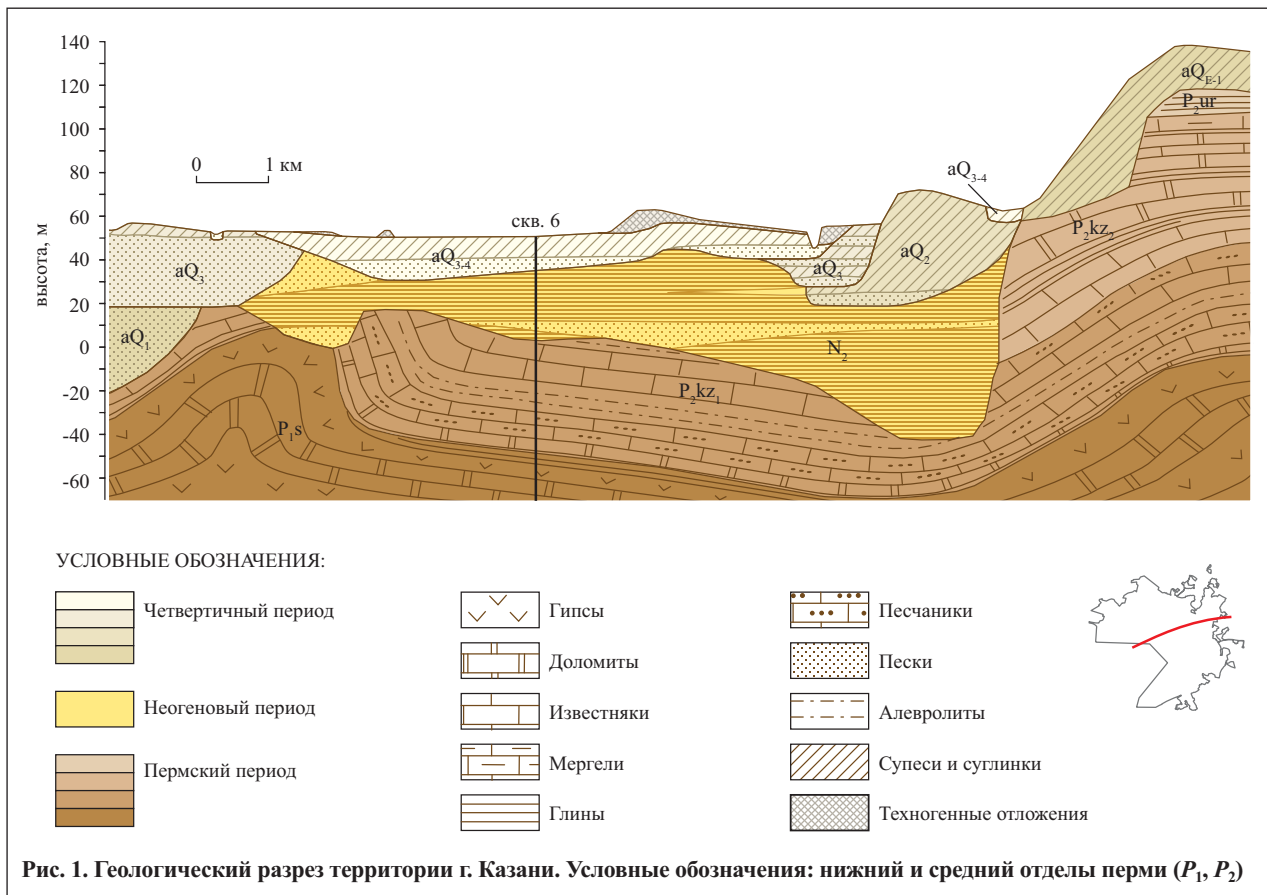


Рис. 1. Геологический разрез территории г. Казани. Условные обозначения: нижний и средний отделы перми ( $P_1, P_2$ )

| Критерии районирования территории г. Казани по глубине залегания кровли выветрелых карбонатных пород |  |  |
|--|--|--|
| Глубина залегания, м   | Положение карбонатного элювия относительно элементов геологической среды | Процессы в зоне взаимодействия сооружений с геологической средой, обусловленные наличием карбонатного элювия   |
| <20  | Всегда входит в состав ЛТС   | Растворение и/или суффозионное разуплотнение (природное и техногенное), неравномерные осадки, провалы, оседание поверхности. Плотность карстово-суффозионных воронок — более 1 шт./км <sup>2</sup> |
| 20–30  | Часто входит в состав ЛТС  | Растворение и/или суффозионное разуплотнение (природное и техногенное), оседание поверхности. Плотность карстово-суффозионных воронок — менее 1 шт./км <sup>2</sup>                                |
| 30–50  | Редко входит в состав ЛТС  | Редкие единичные карстово-суффозионные воронки   |
| >50  | Не входит в состав ЛТС   | Процессы отсутствуют   |

### Методика исследований

Для установления положения толщ карбонатного элювия в пространстве авторами был проведен анализ баз данных скважинного материала (по 911 скважинам) с использованием программного продукта ArcView 3.3. Это позволило выполнить картирование видимой мощности карбонатного элювия в центральной части города, а также районирование на исследуемой территории по глубине залегания кровли выветрелых карбонатных пород (с привлечением данных из работы [9]), поскольку информация о мощности и положении в пространстве специфических грунтов такого типа, несомненно, имеет большое практическое значение (для проектирования, строительства и эксплуатации сооружений).

При определении граничных значений классификационного показателя «глубина залегания» авторы опи-

рались, с одной стороны, на положение карбонатного элювия относительно элементов геологической среды, а с другой — на активность карстово-суффозионных процессов, которая в пределах равнинных территорий во многом определяется мощностью покровных нерастворимых отложений (см. таблицу). Так, на участках города, в пределах которых карбонатный элювий залегает на глубине более 50 м, неблагоприятные для сооружений явления, обусловленные наличием таких специфических грунтов, практически отсутствуют. На участках же с неглубоким залеганием выветрелых карбонатов (до 20 м), напротив, активно развиваются карстовые и суффозионные процессы, от которых нередко страдают сооружения, поскольку в условиях города с развитой подземной инфраструктурой такие грунты практически всегда входят в состав литотехнических систем (ЛТС). Именно на таких участках они наиболее подвержены техногенному

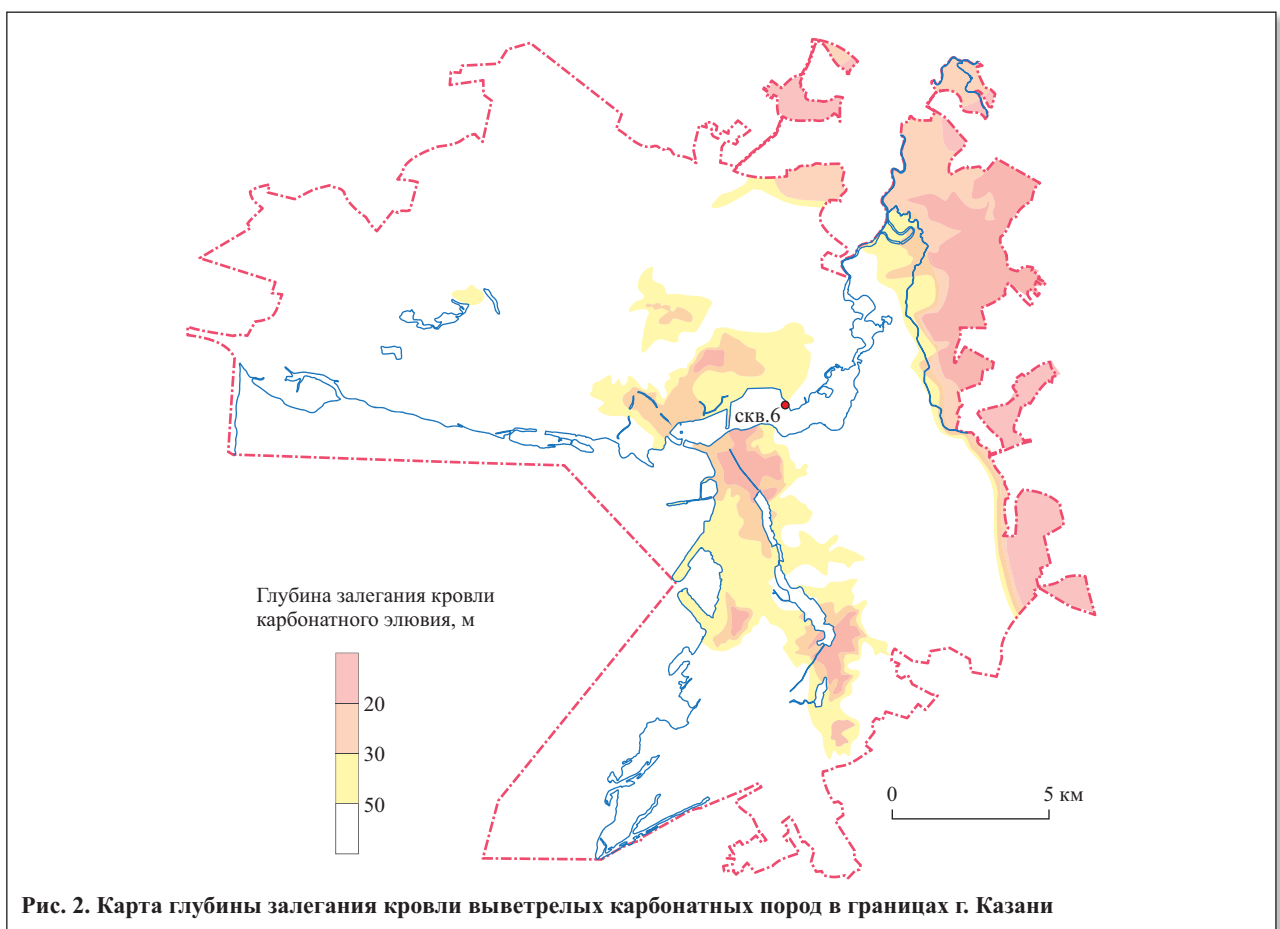


Рис. 2. Карта глубины залегания кровли выветрелых карбонатных пород в границах г. Казани



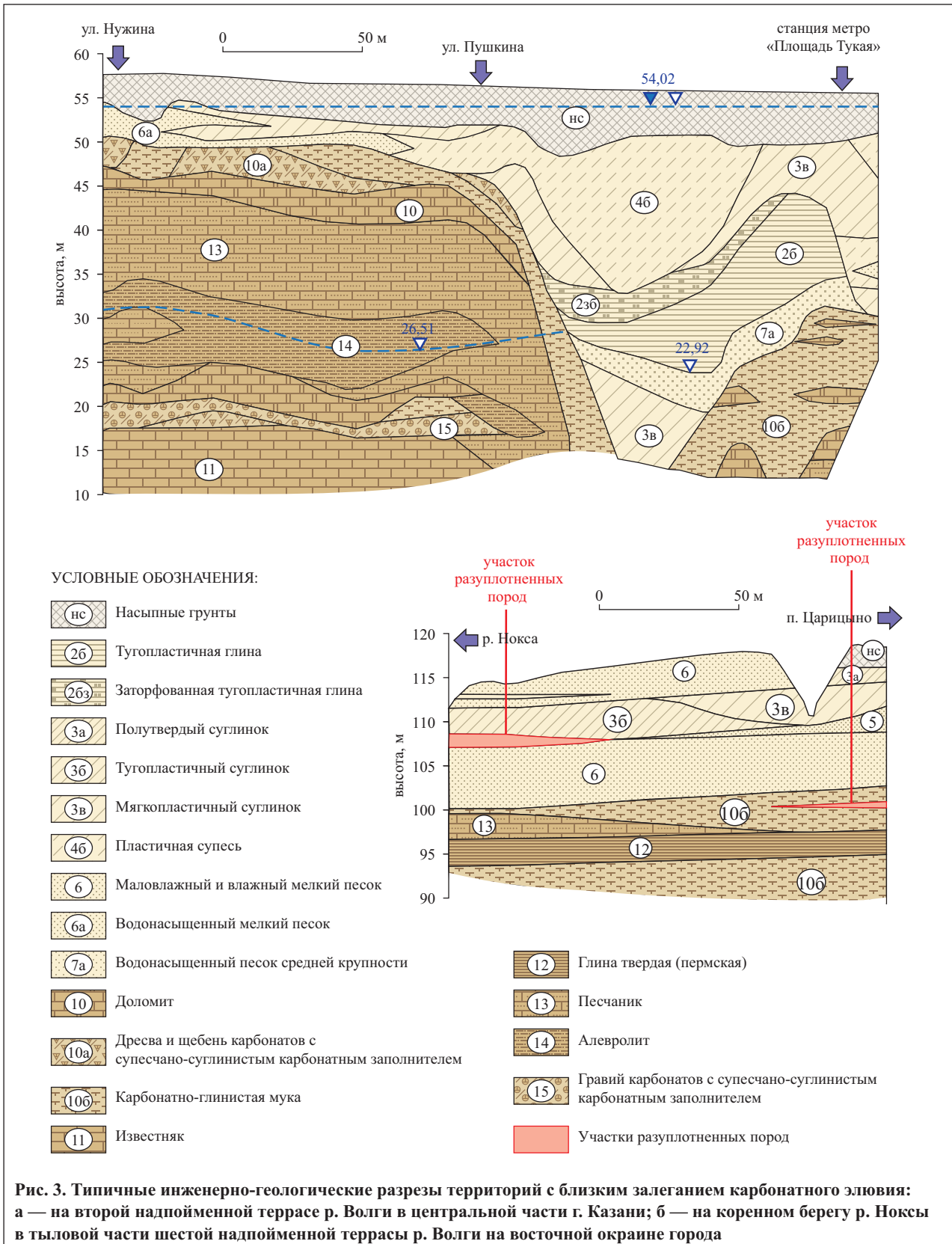
растворению и суффозионному разуплотнению. Для этих участков также характерна наибольшая плотность карсто-суффозионных форм.

Для исследования состава, строения и свойств карбонатного элювия детально изучался керн одной из скважин (скважины 6), пробуренной на правом берегу р. Казанки в 2012 г.

Для изучения строения данных отложений, размеров и формы обломков использовалась традиционная оп-

тическая микроскопия в проходящем свете. Некоторые образцы исследовались в ЦКП микроскопии Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ) на сканирующем электронном микроскопе с энергодисперсионной приставкой SEM EVO GM (Carl Zeiss) (высокий вакуум, напряжение 25 кВ).

Для детализации минерального состава образцов проводился рентгенографический анализ на приборе SHIMADZU XRG-7000 в лаборатории фазового анали-



за Института геологии и нефтегазовых технологий (ИГиНГТ) КФУ. Использовались преимущественно порошковые препараты, изготовленные по стандартной методике. Режимы съемки соответствовали поставленным задачам: диапазон от 3 до 38° (2Q), шаг 0,02 град./мин. при экспозиции 4 с,  $\text{CuK}\alpha$ -излучение, напряжение на трубке 30 кВ.

Неоднородность строения и пространственное распределение пустот в карбонатном элювии изучались на образцах ненарушенной структуры методом рентгеновской компьютерной томографии (РКТ). Исследования проводились в лаборатории РКТ ИГиНГТ КФУ на приборе Phoenix V|tome|X S 240 с использованием микрофокусной трубки. Съемка проводилась при ускоряющем напряжении 200 кВ и токе 700 мА, разрешение составляло 146 мкм.

Гранулометрический состав, а также все физико-механические свойства определялись в лаборатории механики грунтов ИГиНГТ КФУ на установках трехосного сжатия конструкции НПП «Геотек» и компании Wile Geotechnik.

Для механических испытаний были использованы образцы грунта ненарушенного сложения цилиндрической формы диаметром 50 и 100 мм, высотой 100 и 200 мм соответственно. Размеры образца принимались в зависимости от однородности грунта и величины включений.

В процессе испытаний фиксировались значения вертикального давления (МПа), давления в камере (МПа), давления поровой жидкости по верхнему и нижнему торцам образца (МПа), вертикальная дефор-

мация (мм), объемная деформация ( $\text{мм}^3$ ) и радиальная деформация в средней части образца (мм).

Предварительное обжатие (реконсолидация) образцов до восстановления природной плотности было выполнено по методу ВФС (восстановления двухфазного состояния).

Вертикальная нагрузка прикладывалась при ранее достигнутом давлении в камере и перекрытом дренаже при кинематическом режиме нагружения со скоростью 0,5% в минуту.

Определяемыми деформационными характеристиками являлись модуль деформации и коэффициент Пуассона, прочность образцов оценивалась по значению сопротивления недренированному сдвигу  $C_u$ . Для этого образцы грунта испытывались приложением вертикальной нагрузки при заданном всестороннем давлении до разрушения (достижения максимума осевой нагрузки) или до достижения относительной вертикальной деформации образца  $\varepsilon=0,15$ .

### Положение в пространстве и мощность карбонатного элювия

Положение кровли карбонатного элювия пространственно связано с поверхностью размыва пород средней перми. Можно выделить две зоны неглубокого залегания их кровли (менее 50 м) — восточную, примыкающую к левому коренному берегу р. Волги, и центральную, пространственно связанную с серией эрозионно-тектонических среднепермских останцов (рис. 2).

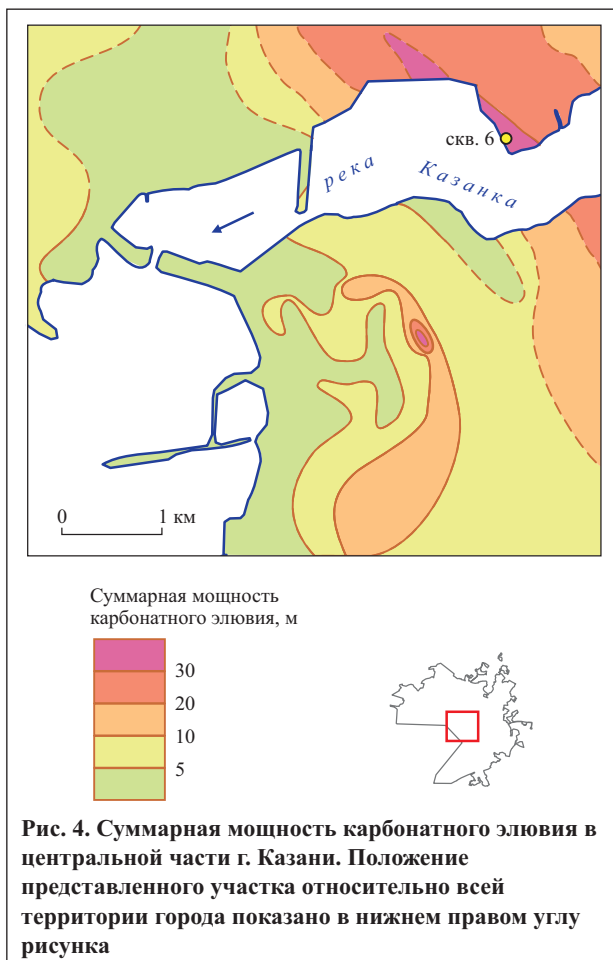
Подавляющая часть карбонатного элювия сосредоточена вблизи поверхности размыва. Тем не менее нередко наблюдается его залегание в виде прослоев и линз среди как невыветрелых карбонатных, так и терригенных пород различной степени разрушенности. Мощность таких элювиальных покровов, прослоев и линз изменяется в весьма широком диапазоне — от первых десятков сантиметров до 10–15 м (рис. 3).

Столь сложное залегание обусловлено:

- неравномерным чередованием карбонатных и терригенных пачек средней перми;
- первичной и вторичной неоднородностью минерального состава карбонатов (пятнистая доломитизация известняков и окремнение известняков/доломитов не способствуют их выветриванию);
- различными гидрогеохимическими условиями в прошлом и настоящем, что привело к разной степени выветрелости первоначально схожих по строению и составу пород.

Необходимо отметить, что иногда мощные неоднородные толщи карбонатного элювия по своей сути являются карстовой брекчией, сформировавшейся в результате обрушения кровли карстовых полостей в гипсах и доломитах нижней перми. Именно для такого типа элювия характерно присутствие глинистых минералов и кварца в минеральном составе пород.

Наиболее достоверно суммарную мощность карбонатного элювия можно оценить в центральной части города благодаря хорошей геологической изученности этого района и неглубокому залеганию исследуемых грунтов (на левом берегу р. Казанки на рис. 4). В целом, для исторического центра характерна толщина данных отложений до 5–10 м. Лишь в пределах вершин





останцов, где от размыва сохранилась более карбонатная средняя часть P<sub>2</sub>, можно наблюдать мощность более 10–15 м и в очень редких случаях более 30 м.

В пределах восточной области неглубокого залегания поверхности размыва мощность карбонатного элювия по данным единичных скважин оценивается также в диапазоне 2–5 м, реже 10 м.

Предположительно наибольшая суммарная мощность карбонатного элювия характерна для области развития неогенового вреза Пра-Волги. В единичных глубоких скважинах была зафиксирована его видимая мощность 40–70 м [7]. В частности, по данным скважины 6 на 70 м пермских отложений приходится 41 м выветрелых карбонатных пород (рис. 5).

Вышеуказанные особенности объясняются, во-первых, различными типом, интенсивностью и длительностью процессов выветривания на исследуемой территории. Так, 23 млн лет назад с началом миоцена (N<sub>1</sub>) на-

чался активный подъем востока Восточно-Европейской платформы (с амплитудой 200–300 м), что привело к формированию глубокой каньонобразной долины Пра-Волги [8]. В этот сравнительно холодный период в днище и на крутых склонах долины, вероятно, доминировало физическое выветривание. Затем, в течение плиоцена (N<sub>2</sub>, 5,3–2,6 млн лет назад) происходит заполнение долины аллювием и большая часть дезинтегрированных карбонатных пород на многие тысячелетия оказывается в зоне полного водонасыщения. Начиная с этого периода здесь доминирует химическое выветривание. В дальнейшем череда четвертичных похолоданий и потеплений, вызвавших колебания уровня мирового океана, привела к формированию серии аккумулятивных террас р. Волги и ее притоков. На данном этапе формируется преимущественно маломощный слой выветрелых пород, поскольку эти периоды были не столь длительными, а эрозионные врезы были не так велики, как в неогене.

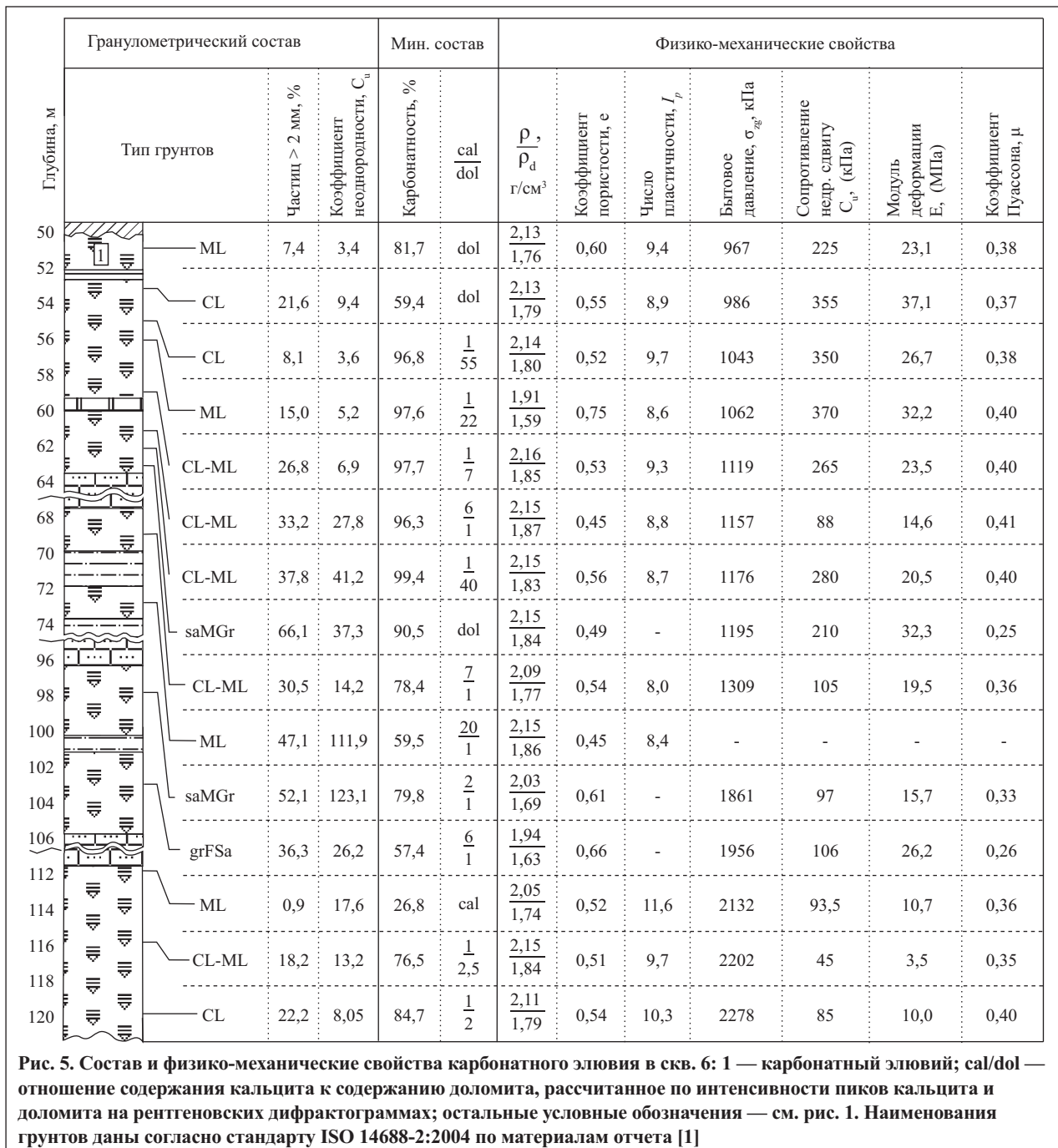




Рис. 6. Неоднородный состав карбонатного элювия (скв. 6, обр. 06–62, глуб. 62 м): а — песчано-гравийный материал; б — пылевато-песчаные зерна в этом материале; в — микрофотография SEM корродированного кристалла доломита на поверхности доломитового гравия

Во-вторых, существенную роль в разрушении карбонатных пород до дисперсного состояния играют подземные воды. Наиболее активному выщелачиванию и суффозионному разуплотнению подвергаются глубоко залегающие карбонатные породы, расположенные на крыльях плакантиклиналей и в тальвегах неогеновой палеодолины, где, вероятно, начиная с неогена осуществляется мощная разгрузка напорных сульфатных вод водоносной сакмарской карбонатно-сульфатной серии. В настоящее время благодаря антропогенному загрязнению грунтовых вод происходит активизация процессов выветривания на участках с неглубоким залеганием карбонатов, что приводит лишь к локальным увеличениям мощности выветрелых пород (см. рис. 4) [6].

Таким образом, большие мощности элювия вблизи погребенной неогеновой долины объясняются более длительным периодом дезинтеграции во время продолжительного эрозионного расчленения (в течение примерно 17 млн лет), а затем периодом химического выщелачивания и суффозионного разуплотнения (в течение примерно 5 млн лет).

### Состав, строение и физико-механические свойства карбонатного элювия

По гранулометрическому составу исследуемые отложения можно классифицировать как карбонатные супеси и суглинки с включениями обломков карбонат-

ных пород и как гравийно-щебнистый карбонатный грунт с заполнителем из карбонатного песка и пыли (см. рис. 5).

Основная масса карбонатного элювия представлена частицами 0,10–0,01 мм, практически нет частиц мельче 0,005 мм. Содержание дресвы и щебня карбонатных пород колеблется в диапазоне от 8 до 49% у карбонатных супесей и суглинков и от 50 до 70% у гравийно-щебнистых карбонатных грунтов. Во всех исследуемых отложениях супесчано-суглинистый заполнитель имеет близкие значения показателя пластичности  $I_p$  (от 8 до 10), что объясняется наличием карбонатной пыли (с размером частиц 0,10–0,01 мм) и отсутствием глинистого вещества. Именно частицы размером менее 0,01 мм отвечают за пластичность исследуемых грунтов. Кроме того, фильтрационные свойства исследуемых отложений очень близки между собой: их коэффициент фильтрации  $K_f$  находятся в диапазоне от  $0,2 \times 10^{-4}$  до  $0,6 \times 10^{-4}$  м/сут, что характеризует их как водонепроницаемые [5]. Последнее также объясняется сходством состава мелкой фракции.

Ранее многие исследователи неоднократно указывали на значительную неоднородность карбонатного элювия по гранулометрическому составу [6, 9]. Результаты исследований керна скважины 6 также подтверждают это предположение: коэффициент неоднородности  $C_u$  закономерно изменяется по разрезу от 3 до 123 (см. рис. 5). Обломки гравийной, песчаной и пылеватой фракций имеют угловатую форму (рис. 6, а, б), а самые мелкие обломки имеют размеры 0,001–0,002 мм и, по существу, являются отдельными зернами доломита, как правило, ромбоэдрической формы. Таким образом, исходная порода разрушается до отдельных зерен. Исследования по другим скважинам и обнажениям, выполненные авторами ранее на территории Казани (более 80 образцов), показали, что в карбонатном элювии как доломитового, так и доломит-известкового состава доломит концентрируется во фракции мельче 0,01 мм.

Распределение плотности сухого грунта ( $\rho_d$ ) и пористости ( $e$ ) с глубиной носит закономерно-незаконный характер (см. рис. 5). Более глубоко залегающие горизонты карбонатного элювия даже с большим содержанием гравийного материала имеют меньшую плотность, чем верхние горизонты. Такое разуплотнение может быть результатом суффозионного выноса и/или выщелачивания, происходящих под действием напорной разгрузки сульфатных вод водоносной сакмарской карбонатно-сульфатной серии. О процессах выщелачивания (происходящего, очевидно, в зоне насыщения) также свидетельствует коррозия поверхности как отдельных зерен, так и всей поверхности обломков доломита (рис. 6, в).

Наличие этих процессов подтверждается исследованием карбонатного элювия методом РКТ. Снимок, представленный на рис. 7, а, характеризует общую объемную пористость одного из образцов, на рис. 7, б — неоднородность строения грунта и пористость в произвольных сечениях. Поры часто образуют цепочки и каналы вокруг крупных обломков (см. рис. 7, б), что может являться результатом избирательной суффозии.

Большинство изученных авторами образцов карбонатного элювия при большом разнообразии гранулометрического состава имеют близкий минералогиче-

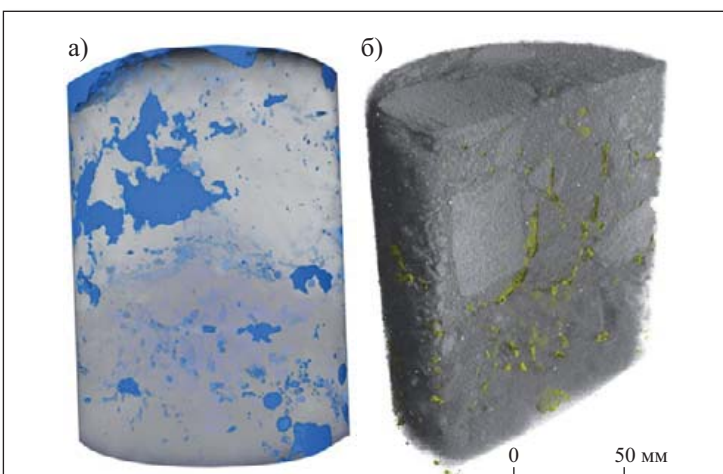


Рис. 7. Рентгеновские томографические снимки карбонатного элювия (скв. 6, глуб. 53 м): а — 3D-изображение общей пористости в монолите (синему цвету соответствуют пустоты); б — произвольные сечения (светло-серому цвету соответствуют обломки, желтому — пустоты)



ский состав. Они характеризуются, как правило, небольшой примесью кварц-полевошпатового обломочного материала и почти полным отсутствием глинистых минералов. Среди карбонатных минералов преобладает доломит в силу его большей устойчивости к выветриванию и распространения среди материнских пород [3].

Исследования, проведенные в лаборатории механики грунтов ИГиНГТ КФУ, показали, что при содержании дресвы и щебня карбонатных пород менее 50% изучаемые грунты при механическом нагружении деформируются и разрушаются как суглинки или супеси. Деформационные характеристики при этом в значительной степени зависят от процентного содержания и величины включений. Так, модули деформации, определенные по результатам трехосных испытаний, находятся в пределах 3–37 МПа, а коэффициенты Пуассона — в диапазоне от 0,35 до 0,41 (см. рис. 5).

В случае когда карбонатный элювий представляет собой гравийно-щебнистый грунт с заполнителем в виде муки, его необходимо испытывать как крупнообломочный грунт. В вышеуказанной лаборатории такие испытания проводились в установке трехосного сжатия для образцов диаметром 100 мм и высотой 200 мм. Размер частиц «максимальной» фракции при этом составлял одну пятую диаметра образца, т.е. 20 мм. В результате серии испытаний было установлено, что модули деформации таких грунтов находятся в пределах 16–32 МПа, коэффициенты Пуассона — в диапазоне 0,25–0,33 (см. рис. 5).

Влияние минерального состава на физико-механические свойства карбонатного элювия невелико. Отмечается лишь тенденция к уменьшению модуля деформации  $E$  с увеличением доли кальцита (см. рис. 5), объясняемая большей прочностью исходных микрочернистых доломитов по сравнению с исходными биогенными известняками.

### Геологические процессы, связанные с карбонатным элювием

Наличие карбонатного элювия в составе геологической среды предопределило развитие негативных гео-

логических и инженерно-геологических процессов на территории г. Казани.

1. На участках с пологим рельефом преимущественно на низких террасах в условиях близкого залегания грунтовых вод в результате неравномерного выщелачивания и дезинтеграции первично неоднородных материнских пород рядом исследователей зафиксированы оседания земной поверхности:

- локальные оседания диаметром несколько десятков метров и глубиной до 1 м в центральной части города выявлены на улицах Гоголя, Нужина, Баумана, Дзержинского, Астрономическая и Профсоюзная;
- более масштабные плавные оседания земной поверхности без разрыва сплошности с образованием крупных мульд размером в несколько сотен метров выявлены при повторном нивелировании в районах улиц Островского, Свердлова, Спартаковская, Ярмарочная и в районе Черного озера;
- общие нисходящие движения земной поверхности отмечены на значительной площади в центре города: максимальные скорости опускания наблюдаются у северного берега озера Нижний Кабан в районе улицы Островского и парка «Миллениум» (до 3–4 мм/год), вблизи северной части Кремлевского холма в районе улиц Ярмарочная и Ташаяк (4 мм/год и более), в районе Черного озера и улицы Дзержинского (до 3 мм/год) (они приурочены, по данным Нелидова, к наиболее высокой части эрозионного пермского останца в центральной части города [7]).

2. В пределах коренных склонов молодых эрозионных форм рельефа (речных долин, оврагов), вскрывающих карбонатную пермскую толщу, развиваются суффозионные и карстовые процессы, обусловленные, с одной стороны, высокой неоднородностью карбонатного элювия, с другой — высокими гидродинамическими градиентами и сезонными колебаниями уровня грунтовых вод в присклоновой части. Также локально отмечается выщелачивание (преимущественно кальцита) при наличии агрессивных вод по отношению к карбонатной части грунтов. В результате таких процессов формируются воронки (реже борозды) различной формы.

Значительное количество современных суффозионных и карстово-суффозионных форм приурочено к до-

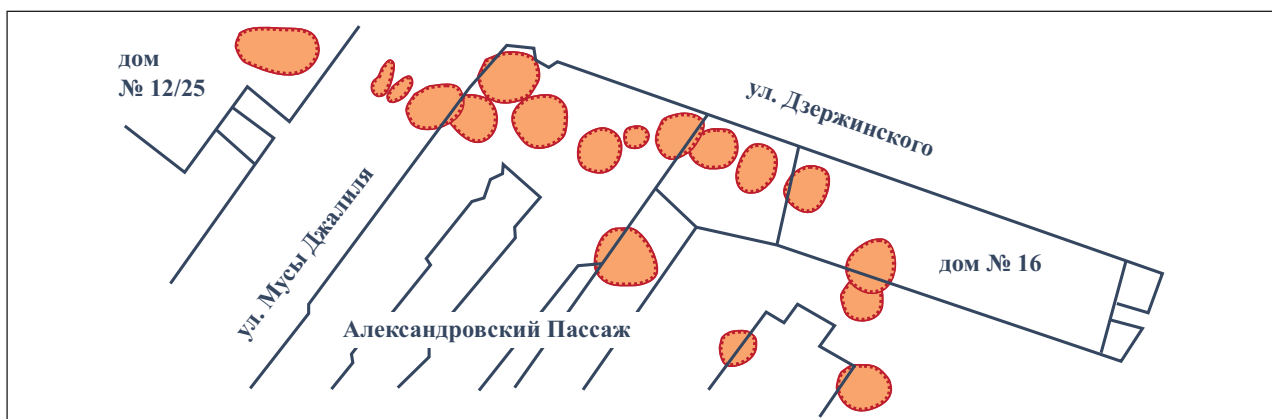


Рис. 8. Схема расположения карстово-суффозионных провалов под зданием Александровского пассажа в конце 70-х годов XX века (по данным ОАО «КазТИСИЗ»). Основная причина провалов: суффозионное и, возможно, химическое разуплотнение в толще карбонатного элювия из-за многолетнего техногенного подтопления. Диаметры воронок составляют 3–8 м, их глубина — 3–6 м. Поле воронок ориентировано вдоль склона Черногозерской впадины. Кровля карбонатного элювия залегает на глубине 8–10 м, его суммарная мощность составляет 13 м [2]



**Рис. 9.** Участок активного развития карстовых и суффозионных процессов в окрестностях п. Царицыно на северо-востоке г. Казани (апрель 2013 г., вид на запад). На переднем плане представлен свежий карстово-суффозионный провал размером в плане 6×10 м и глубиной 2,5 м, на заднем — глубокая карстовая котловина (100×120 м), борта которой осложнены многочисленными разновозрастными карстово-суффозионными воронками. Соответствующий инженерно-геологический разрез представлен на рис. 3, б

линам притоков реки Казанки (рек Киндерка, Нокса, Солонка), в меньшей степени они присутствуют в северо-восточной части Кремлевского холма (на склоне Черноозерской впадины) (рис. 8, 9). Диаметр воронок изменяется от 2 до 6 м (в среднем от 3 до 4 м), глубина — от 0,5 до 4 м (в среднем от 2 до 2,5 м). Их борта в верхней части крутые с хорошо выраженной бровкой, днище округлое и сухое. Следует отметить, что во всех указанных случаях плотность суффозионных и карстово-суффозионных форм возрастает в сторону бровок оврагов и речных склонов. Для некоторых участков характерна максимальная пораженность провальными формами — 1026 шт./км<sup>2</sup>, а следовательно, весьма высока степень суффозионной опасности.

### **Заключение**

Для территории г. Казани были получены новые данные по мощности и условиям залегания карбонатного элювия, относимого к особому типу грунтов, что позволило провести более детальное районирование

по положению в пространстве его толщ. Были детально изучены состав и свойства этих грунтов по керну одной из скважин (скв. 6). В том числе впервые для изучаемой территории были проведены трехосные испытания и оценены деформационно-прочностные свойства карбонатного элювия. По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

Карбонатный элювий широко развит на территории г. Казани, залегает на глубинах от 15 до 120 м вдоль границ пермских карбонатов и неоген-четвертичных толщ, не выдержан по простиранию, имеет специфическое строение, состав, свойства и относится к особому типу грунтов.

Формирование данных отложений является результатом длительного выветривания, связано с геологической историей развития региона в неоген-четвертичное время, с образованием эрозионных врезов и разгрузкой напорных сульфатных вод в днищах долин и на крыльях плакантиклиналей.

Карбонатный элювий представлен в основном доломитовыми суглинками с различной долей гравия и щебня, крайне неоднороден, несет следы выщелачивания, обладает низкой пластичностью (имеет число пластичности  $I_p \approx 8 \div 12$ ), характеризуется преобладанием в тонких фракциях песчаных и пылеватых частиц диаметром 0,01–0,10 мм, почти полным отсутствием глинистого компонента и, как правило, высокой карбонатностью (57–99%).

Участки с неглубоким залеганием кровли карбонатного элювия (центральная часть города, пространственно связанная с пермским эрозионным останцом, и его северо-восточные окраины, приуроченные к долинам малых рек) характеризуются суффозионной и карстово-суффозионной опасностью.

Для оценки механических характеристик карбонатного элювия в лабораторных условиях оптимальным является метод трехосного сжатия, причем схема испытания должна выбираться в зависимости от процентного содержания обломков карбонатных пород, а размеры образцов — в зависимости от величины включений. При этом необходимо постоянно оценивать возможность получения монолитов высокого качества, пригодного для изготовления образцов ненарушенного сложения, и по возможности уточнять результаты лабораторных исследований по данным полевых испытаний.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Анфимова С.В., Изотов Д.Н. и др. Отчет об инженерно-геологических изысканиях по объекту: «Коттеджный поселок в н.п. «Село Царицыно» Советского района г. Казани». Казань: Фонды ОАО «КазТИСИЗ», 2008. 47 с.
2. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия города Казани / под научн. ред. А.И. Шевелева. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2012. 236 с.
3. Горбачев Б.Ф., Васянов Г.П., Аблямитов П.О., Шишкин А.В. Влияние процессов гипергенеза на формирование, состав и свойства нерудного минерального сырья в Республике Татарстан // Георесурсы. 2007. № 4 (23). С. 28–33.
4. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Стандартинформ, 2011. 82 с.
5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013. 42 с.
6. Жаркова Н.И., Даровских Н.Н., Галеев Р.К. Состав и свойства верхнепермского карбонатного элювия, как фактор формирования инженерно-геологических условий центральной части г. Казани // Вестник Татарстанского отделения Российской экологической академии. 2005. № 4. С. 22–25.
7. Малышева О.Н., Нелидов Н.Н., Соколов М.Н. Геология района г. Казани. Казань: Изд-во КГУ, 1965. 95 с.
8. Сладкопевцев С.А. Новейший этап развития речных долин. М.: Недра, 1977. 200 с.
9. Устинова Н.П., Рожкова Ф.А. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Первый участок первой линии метрополитена в г. Казани РТ». Казань: Фонды ОАО «КазТИСИЗ», 1998. 125 с.



Саморегулируемая организация  
**Ассоциация  
Инженерные изыскания  
в строительстве**



**В СРО «АИИС» входят около 2000 организаций из 83 регионов России, а также компании из Белоруссии, Украины, Норвегии, Англии, Турции и США. Среди организаций-участниц АИИС — ведущие отраслевые вузы и университеты, выпускающие специалистов профильных специальностей, крупные российские компании.**

**Ведется выдача свидетельств о допуске к работам по выполнению инженерных изысканий в строительстве, в том числе к работам на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах капитального строительства, объектах использования атомной энергии.**

### **КРУПНЕЙШАЯ ИЗЫСКАТЕЛЬСКАЯ СРО В РОССИИ**

**Документы на вступление в Ассоциацию принимаются в исполнительной дирекции в Москве и в филиалах в следующих городах:**

**Санкт-Петербург**, Измайловский проспект, дом 4, (комнаты 222, 414).

Тел.: +7 (812) 575-37-85, 316-61-18. E-mail: spb@oaiis.ru.

**Ростов-на-Дону**, ул. Греческого города Волос, дом 6.

Тел.: +7 (863) 201-28-54, 242-44-60. E-mail: rostov@oaiis.ru.

**Краснодар**, ул. Котовского, дом 42.

Тел.: +7 (861) 216-82-33; факс: +7 (861) 277-31-69. E-mail: krasnodar@oaiis.ru.

**Самара**, ул. Ново-Садовая, дом 18, комнаты 3, 4.

Тел.: +7 (846) 337-16-99, 337-16-99. E-mail: samara@oaiis.ru.

**Уфа**, ул. 50 лет СССР, дом 39, б/ц «Промсвязь», этаж 3, каб. 7.

Тел.: +7 (347) 241-53-44. E-mail: ufa@oaiis.ru.

**Пермь**, ул. Куйбышева, дом 52.

Тел.: +7 (342) 239-33-73, 239-31-12. E-mail: perm@oaiis.ru.

**Тюмень**, : ул. Луначарского, дом 28.

Тел.: +7 (3452) 42-23-90. E-mail: tumen@oaiis.ru.

**Томск**, ул. Пушкина, дом 40/1.

Тел.: +7 (3822) 66-05-49. E-mail: tomsk@oaiis.ru.

**Владивосток**, ул. Пограничная, дом 15а.

Тел.: +7 (423) 261-32-24, 265-34-84. E-mail: dv@oaiis.ru.

**Воронеж**, ул. Белинского, дом 21.

Тел.: +7 (473) 269-57-28. E-mail: voronezh@oaiis.ru.

Москва 105187, Окружной проезд, дом 18.

**Тел./факс:** +7 (495) 228-08-68.

**E-mail:** mail@oaiis.ru. **Web:** www.oaiis.ru, www.aiis.pф



## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН ПОЛУОСТРОВА МУРАВЬЕВА-АМУРСКОГО (МОРФОСТРУКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ)

## GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF THE MURAVIEV-AMURSKY PENINSULA COASTAL ZONES (MORPHOSTRUCTURAL ASPECTS)

### МЯСНИКОВ Е.А.

Старший научный сотрудник лаборатории геоморфологии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, к.г.н., г. Владивосток, kvv@tig.dvo.ru

### КОРОБОВ В.В.

Младший научный сотрудник лаборатории палеогеографии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток, kvv@tig.dvo.ru

### СОРОКИН П.С.

Младший научный сотрудник лаборатории морских ландшафтов Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток, paveleco@mail.ru

### MYASNIKOV E.A.

A senior staff scientist of the Geomorphology Laboratory of the Pacific Institute of Geography of the FEB RAS, candidate of science (Geography), Vladivostok, kvv@tig.dvo.ru

### KOROBOV V.V.

A junior staff scientist of the Paleogeography Laboratory of the Pacific Institute of Geography of the FEB RAS, Vladivostok, kvv@tig.dvo.ru

### SOROKIN P.S.

A junior staff scientist of the Sea Landscapes Laboratory of the Pacific Institute of Geography of the FEB RAS, Vladivostok, paveleco@mail.ru

### Ключевые слова:

геологические и геоморфологические условия; опасные геологические процессы; экспресс-районирование; морфоструктурная основа; полуостров Муравьева-Амурского; Приморский край; Южное Приморье; объекты 24-го Саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сообщества (АТЭС) 2012 г.

### Key words:

geological and geomorphological conditions; dangerous geological processes; express zoning; morphostructural base; Muraviev-Amursky peninsula; Primorskiy Krai; Southern Primorye; objects of the 24th Summit of the Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) of 2012.

### Аннотация

На основе совместного анализа известных и выявленных авторами геологических и геоморфологических условий освоения прибрежных зон урбанизированных территорий полуострова Муравьева-Амурского, расположенного на юге Приморского края, составлены схемы экспресс-районирования типовых участков. На морфоструктурной основе выделены локальные участки возможного аномального развития обвалов, оползней и других опасных геологических процессов, а также места возможного переувлажнения грунтов в условиях техногенной нагрузки, главным образом при эксплуатации объектов 24-го Саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сообщества (АТЭС) 2012 г. Размещение и характер проявлений опасных геологических процессов контролируются прежде всего морфоструктурными (морфотектоническими) факторами, но эти процессы могут усиливаться разными видами и степенью антропогенного вмешательства в природную среду. Даны соответствующие рекомендации по их нейтрализации.

### Введение

Актуальность исследований геологических и геоморфологических условий освоения прибрежных зон очевидна, т.к. определяется неустанным стремлением людей там безопасно жить, работать, строить и отдыхать [12, 15]. Однако, например, инженерно-геологическая изученность прибрежных зон урбанизированных территорий (УТ) Дальнего Востока России (ДВР), в частности полуострова Муравьева-Амурского, остается недостаточной, особенно в условиях начавшегося в последнее время интенсивного целевого освоения отдельных УТ [1, 7, 8]. В качестве примера можно отметить объекты 24-го Саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сообщества (АТЭС), состоявшегося в 2012 г. в г. Владивостоке, возведенные в рекордно короткие сроки, но, к сожалению, без должного инженерно-геологического обоснования. В результате многие объекты только начали функционировать или даже еще не сданы в эксплуатацию, а уже имеются примеры проявлений опасных геологических и техногенных процессов, часть из которых широко освещена в средствах массовой информации (оползни и небольшие обвалы вдоль новой автомагистрали Седанка — Патрокл, отседания грунта на путепроводе «Спутник» и др.).

Уже названы и основные причины «ошибки проектирования и строительства» [4]. Сложные природные условия и техногенные нагрузки всегда создавали и будут создавать экстремальные ситуации. Однако некоторые из них можно предвидеть и предупреждать исходя, например, из особенностей геоморфологических, геологических и антропогенных условий строительства. К сожалению, соответствующие исследования во взаимосвязи друг с другом и с другими факторами традиционно не проводятся в должной мере.

В условиях слабо и неравномерно изученных урбанизированных территорий, по мнению авторов, на пер-

### Abstract

Express-zoning schemes of typical areas were constructed on the basis of joint analysis of geological and geomorphological conditions (known and revealed by the authors) of development of urbanized territories in the Muraviev-Amursky peninsula coastal zones (the Southern Primorye). Local areas of potential anomalous development of landfalls, landslides and other hazardous geological processes as well as sites of potential soil overwetting under antropogenic load (mainly during operation of the objects of the 24th Summit of the Asia-Pacific Economic Cooperation of 2012) were singled out on the morphostructural base. The location and development character of hazardous geological processes are first of all controlled by morphostructural (morphotectonic) factors. But these processes can be intensified by antropogenic intervention of different types and degrees into the environment. Corresponding recommendations for neutralization of them are given.



вом этапе необходим комплексный анализ всех имеющихся (часто немногочисленных и неполных) геоморфологических, геологических и геоэкологических данных на морфоструктурной основе и экспресс-районирование типовых участков прибрежных зон полуострова Муравьева-Амурского в инженерно-геологических целях, а затем, на следующем этапе, требуется детальное инженерно-геологическое районирование.

В связи с этим основной задачей первого этапа являлось комплексное исследование, включавшее: (1) анализ антропогенного освоения территорий прибрежных зон; (2) анализ связей современного состояния морфоструктур с геологическими процессами, а также антропогенными нагрузками; (3) экспресс-анализ и районирование типовых участков прибрежных зон по геологическим и геоморфологическим условиям их освоения на морфоструктурной основе.

Поясним смысл некоторых из используемых в данной статье терминов:

- *морфоструктуры* — геологические структуры, выраженные в рельефе;
- *морфоструктурный анализ* — анализ, объектом изучения которого являются морфоструктуры Земли; в его «сферу действия» попадают не только собственно морфоструктуры со свойственными для них морфологией (рельефом) и геологическим «содержанием», но и все факторы и процессы, связанные с их формированием и длительным геологическим развитием (вплоть до наших дней) [16].

Для качественной оценки крутизны склонов в статье используются уклоны, град.:

- <1 — очень пологие;
- 1–10 — пологие;
- 10–20 — умеренные;
- >20 — крутые.

Для качественной оценки расчлененности рельефа авторами выбрана густота речной сети, км/км<sup>2</sup>:

- <1,0 — очень слабая;
- 1,0–1,5 — слабая;
- 1,5–2,0 — умеренная;
- >2 — крутая.

В качестве основных типовых объектов исследования (рис. 1) были выбраны полуостров Шкота (А) и южная часть полуострова Муравьева-Амурского (Б).

### Антропогенная освоенность прибрежных зон полуострова Муравьева-Амурского

Степень антропогенной освоенности и технодинамической нагрузки крупномасштабных объектов урбанизированных территорий прибрежных зон наиболее полно отражает интегральный показатель, отражающий, с одной стороны, функциональную специализацию и плотность застройки, а с другой — геохимическое загрязнение грунтов и водной среды (в том числе акваторий). Соответствующие материалы по отдельным показателям в разное время были собраны специалистами научно-исследовательских институтов (ТИГ ДВО РАН и др.) и производственных организаций (таких как Приморгражданпроект, Приморгидромет, Примгеология и др.) [2, 6, 10, 11, 13]. Авторы настоящей статьи попытались проанализировать эти и собственные данные комплексно и в инженерно-гео-

логических и геоэкологических целях. Краткие результаты такого анализа изложены ниже.

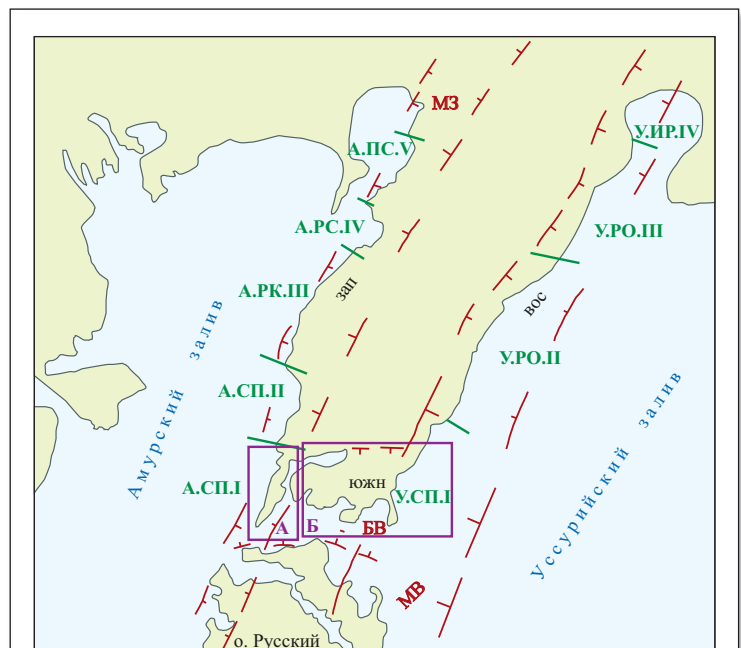
В пределах полуострова Муравьева-Амурского по интегральному показателю выделяются три основные прибрежные зоны: Уссурийского залива; пролива Босфор Восточный; Амурского залива (см. рис. 1).

*Прибрежную зону Амурского залива* авторы подразделили на четыре подзоны (которые, в свою очередь, делятся на еще более низкоранговые участки).

1. **А.СП.** — *селитебно-промышленная подзона* (комплекс производств, связанных с морским и железнодорожным транспортом) с городским типом застройки и наиболее высокими значениями суммарного показателя загрязнения ( $32 < СПЗ \leq 128$ ), расположенная между мысами Токаревского и Фирсова. Это подзона максимальной технодинамической нагрузки.

2. **А.РК.** — *смешанная рекреационно-курортная подзона* с преимущественно сельским и локально городским типами застройки и умеренными значениями загрязнений ( $8 \leq СПЗ < 16$ ), находящаяся между мысами Фирсова и Дальний. Она отличается умеренной технодинамической нагрузкой.

3. **А.РС.** — *рекреационно-садоводческая (дачно-коттеджная) подзона* с сельским типом застройки и суммарным показателем загрязнения  $8 < СПЗ \leq 36$ . Она располагается между мысом Дальний и поселком Трудо-



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- МЗ — Зоны геодинамического влияния разломов: Муравьевского Западного (МЗ) и Муравьевского Восточного (МВ), пролива Босфор Восточный (БВ)
- А.СП.II — Границы прибрежных подзон
- А — Границы типовых объектов исследований

Рис. 1. Положение типовых объектов исследования в пределах прибрежных зон п-ова Муравьева-Амурского: А — п-ов Шкота; Б — южная часть п-ова Муравьева-Амурского: зап — западная прибрежная зона; вос — восточная прибрежная зона; южн — южная прибрежная зона. Обозначения подзон и более дробных подразделений — см. в тексте

вое и характеризуется минимальной технодинамической нагрузкой.

4. **А.ПС.** — производственно-складская подзона с сельско-промышленным типом застройки (16<СПЗ<64). К этой подзоне относятся территории поселков Трудовое и Угловой.

**Прибрежную зону Уссурийского залива** слагают три подзоны.

1. **У.ИР.** — участок строящегося игрового и развлекательного комплекса (в прибрежной зоне бухты Муравьиная). Здесь имеется повышенное загрязнение (16<СПЗ<32) и ожидается относительно повышенная технодинамическая нагрузка.

2. **У.РО.** — рекреационно-оздоровительная территория от мыса Геллера до бухты Горностай, включая территории международного детского лагеря «Океан» и пансионатов бухты Лазурная. Здесь наблюдается умеренное загрязнение (8<СПЗ<16), а технодинамическая нагрузка относительно слабая.

3. **У.СП.** — селитебно-производственная территория от бухты Горностай до полуострова Басаргина, включая ТЭЦ-2 с золоотвалами и другие объекты. На этом участке наблюдается максимальное загрязнение (32<СПЗ<128), технодинамическая нагрузка наиболее высока для прибрежной зоны Уссурийского залива.

**Прибрежную зону пролива Босфор Восточный** на данном этапе исследований целесообразно пока не подразделять на подзоны, а рассматривать в целом. Данная территория имеет умеренную степень загрязнения (16<СПЗ<32) и техногенной освоенности.

Подчеркнем, что в целом степень освоенности самая большая в прибрежной зоне Амурского залива, умеренная — на прибрежной территории пролива Босфор Восточный, относительно низкая — в зоне Уссурийского залива. При этом она относительно более высока в пределах береговых частей (благоприятных для портовых сооружений), а на склонах и водоразделах она ниже. Кроме того, имеет место и более дробное деление подзон, освоенность которых весьма сильно зависит от особенностей их геологического строения и рельефа.

Забегая вперед, отметим достаточно характерную для всех прибрежных участков урбанизированной территории полуострова Муравьева-Амурского черту антропогенного освоения — концентрацию жилой и производственной застройки разных типов, зачастую пространственно приближенную или располагающуюся в самих зонах повышенной раздробленности и трещиноватости земной коры с большими мощностями рыхлых образований и зачастую выположенными формами рельефа. Там, конечно, более дешевое и удобное строительство,



Рис. 2. Фрагмент геологической карты территории г. Владивостока по [17] (пояснения в тексте)



но на таких участках часто концентрируются геодинамически опасные зоны развития эндогенных и некоторых экзогенных геологических процессов. Кроме того, в таких местах зачастую проявлены или потенциально возможны подъем уровня грунтовых вод и увеличение их напорности, а в случае совмещения с геохимическим загрязнением могут также возникать дополнительные интегральные угрозы геоэкологического характера.

### **Морфоструктуры прибрежных зон п-ова Муравьева-Амурского и геологические процессы**

Большой объем среднemasштабных морфоструктурных исследований в пределах полуострова Муравьева-Амурского и в целом Владивостокской агломерации был проведен С.М. Тащи, Е.А. Мясниковым [14] и др. Есть также и опыт экспресс-районирования объектов АТЭС-2012 по эколого-геоморфологическим условиям их строительства на морфоструктурной основе [8]. Настоящая работа является их продолжением и направлена в основном на крупномасштабные исследования экзогенных геологических процессов (ЭГП) в пределах типовых районов прибрежных и бухтовых зон п-ова Муравьева-Амурского.

Согласно методическим требованиям морфоструктурного анализа ниже приводится краткая характеристика особенностей геологического и геоморфологического строения территории (сначала высокоранговых, потом низкоранговых морфоструктур), а также морфологические и морфометрические показатели водораздельных, склоновых и долинных типов, форм и элементов рельефа.

Прибрежные территории полуострова в морфоструктурном отношении состоят из *трех основных зон* — *западной, восточной и южной*. Это в целом опущенные крупные тектонические ступени по краям тектонического горста Муравьева-Амурского. Восточная и южная зоны (ступени) сложены в основном нижнепермскими породами поспеловской свиты (песчаниками, алевролитами, диабазами, спилитами, андезитами, риолитами и их туфами) и несколько приподняты относительно западной, в строении которой участвуют главным образом породы владивостокской свиты (туфы, туфобрекчии кислого и умеренного, реже основного состава) (рис. 2) [14, 17]. Поверхности прибрежных (блоковых) зон наклонены в стороны смежных впадин, причем в этих же направлениях усиливается степень деструкции. В настоящее время она наименьшая в западной зоне, средняя в восточной и наибольшая в южной. Последняя представлена грабенами (бухтой Золотой Рог, проливом Босфор Восточный) и остаточными блоками-горстами (полуостровами Диомид, Назимова, Басаргина и в целом южной части п-ова Муравьева-Амурского). Западная, восточная и южная зоны находятся в областях геодинамических влияний глубинных разломов. Это системы блоков (относительных целиков), ограниченных более низкоранговыми оперяющими разломами. В пределах каждой зоны прослеживаются или предполагаются две небольшие узкие ступени, из которых верхняя (приподнятая) располагается на суше, а нижняя (опущенная) — в пределах акватории.

Вся *западная прибрежная зона (зап)* располагается в области геодинамического влияния глубинного Му-

равьевского Западного разлома, который представлен парой крупных разломов северо-восточного простирания. Между последними развиты дуговые, реже диагональные и ортогональные разломы более низкого ранга. Они ограничивают положительные и отрицательные морфоструктурные блоки (элементарные ячейки).

В продольном направлении выделяются две основные подзоны с более дробными подразделениями (районами, участками и т.д.). С юга на север в пределах западной зоны последовательно располагаются следующие районы: полуостров Шкота, включая Спортивную гавань (А.СП.І), район между мысами Лагерный и Фирсова (А.СП.ІІ) и далее до мыса Дальний (А.РК.ІІІ). В пределах *северной подзоны* выделены районы сопряжения с устьями долин рек Богатая (А.РС.ІV) и Саперка (А.ПС.V) (см. рис. 1). Поперечные дизъюнктивные структуры выражены отрицательными формами и элементами рельефа. Ширина и протяженность отдельных звеньев (блоков) западной зоны различны, но в целом с юго-запада на северо-восток возрастает доля площади суши и, соответственно, положительных (приподнятых) блоков, а площадь и порядок (ранг) отрицательных блоков уменьшаются. При этом в целом увеличивается глубина вертикального вреза, возрастают высоты и степень горизонтальной и общей расчлененности склонов.

В пределах западной прибрежной зоны преобладают холмогорный и увалистый типы рельефа. От низкогорной части полуострова зона отделяется системой линейно вытянутых структурно обусловленных отрицательных элементов рельефа: низкопорядковых долин, ложбин, седловин и перегибов склонов. При этом холмогорье тяготеет в основном к восточной (тыловой) границе зоны, а увалы протягиваются прерывистой полосой вдоль фронтальной береговой части. В тыловой части перепады высот и крутизна склонов больше, а их горизонтальная расчлененность меньше. Во фронтальной части, наоборот, склоны становятся более пологими, прямыми и вогнутыми. Распространены овраги, особенно в прибрежной полосе.

Холмисто-увалистая западная зона имеет полигенетическую природу. Между указанной парой высокопорядковых разломов (тыловой и фронтальной границами) сосредоточена система таких форм рельефа, как террасы, террасоувалы, водосборные воронки, поверхности выравнивания линейного типа, овраги, низкие слабовыпуклые междуречья, ложбины, оползни и др. Аналогичные полигенетические поверхности имеют зоны продольных и поперечных разломов низкого ранга.

В целом для западной зоны характерны: выпуклые и уплощенные водоразделы, выпуклые и вогнутые склоны, U-образные и корытообразные долины, слабая и умеренная расчлененность рельефа, а также умеренная крутизна и пологость склонов.

По всем геоморфологическим признакам это зона, в которой относительно недавно имели место аномально высокие скорости денудации. В настоящее время они в целом не так высоки (стадия денудационно-аккумулятивного выравнивания), но в результате возможных 8-балльных землетрясений соответствующие геологические процессы потенциально опасны [9, 11].

**Восточная прибрежная зона (вос)** во многом аналогична западной, но выделяется менее отчетливо. Здесь также обнаруживается пара высокопорядковых

разломов северо-восточного простирания (зона геодинамического влияния Муравьевского Восточного глубинного разлома), а также единичные оперяющие ортогональные и диагональные разломы низкого ранга, но дугообразных почти нет.

В продольном направлении (с юго-запада на северо-восток) выделяются четыре основных района (блока) с мелкогорно-холмистым типом рельефа: между мысами Басаргина и Трех Камней (**У.СП.І**), далее до мыса Энгельма (**У.РО.ІІ**), затем до бухты Муравьиная (**У.РО.ІІІ**) и, наконец, последний участок ограничивается бухтой Муравьиная (**У.ИР.ІV**) (см. рис. 1).

Для района **У.СП.І** характерны: уплощенные и выпуклые водоразделы, прямые и выпукло-вогнутые склоны, U- и корытообразные долины, умеренная и слабая расчлененность рельефа, умеренные и реже крутые склоны. В пределах района **У.РО.ІІ** преобладают: уплощенные и выпуклые водоразделы, вогнутые и прямые формы склонов, корытообразные долины, очень слабая и слабая расчлененность, пологие склоны. Для района **У.РО.ІІІ** характерны выпуклые и гребневидные водоразделы, выпуклые и прямые формы склонов, U и V-образные долины, умеренная и повышенная расчлененность, крутые и умеренно крутые углы склонов. Район **У.ИР.ІV** отличается тем, что вдоль побережья протягивается узкая (до 0,5 км) полоса с почти плоской поверхностью с системой отдельных мелких вершин. Долины мелких водотоков имеют здесь в поперечнике корытообразную форму, а в верховьях — U- и V-образную. Таким образом, по геоморфологическим признакам степень разрушения восточной прибрежной зоны меньше, чем западной, но современная активность ЭГП выше в восточной зоне.

**Южная прибрежная зона (южн)** в основном состоит из трех ступеней на юге полуострова Муравьева-Амурского. Она ограничена с севера бухтой Золотой Рог и долиной реки Объяснения, а с юга — проливом Босфор Восточный. Поверхности ступеней наклонены к акваториям. Их северные склоны в два раза короче южных. Каждая ступень состоит из нескольких блоков — останцов, ограниченных ортогональными разломами, освоенными речными водотоками низкого ранга, узкими логами и хорошо выраженными седловинами.

Самая южная часть прибрежной зоны включает акватории пролива Босфор Восточный, бухт Патрокл, Улисс и Диомид. Сюда же входят полуострова Назимова и Басаргина. Дно пролива корытообразное и представляет собой, по-видимому, систему отрицательных блоковых морфоструктур. Они имеют тектонические границы. Фронтальная граница этой ступени — крутые скалистые берега указанных полуостровов, обращенные к проливу. Она также, по-видимому, совпадает с субширотными и дуговыми разломами.

В целом для южной прибрежной зоны характерны: выпуклые уплощенные водоразделы, прямые и выпуклые формы склонов, корытообразные и U-образные долины, слабая и умеренная расчлененность, умеренные и крутые склоны. Таким образом, относительная степень разрушения и современная активность ЭГП южной зоны занимают промежуточное положение между таковыми для западной и восточной зон.

Общий итог приведенной выше геологической и геоморфологической характеристики морфоструктур при-

брежных зон п-ова Муравьева-Амурского подтверждает и дополняет выводы предыдущих исследований [14]. Разрушение полуострова, по-видимому, связано с общим растяжением земной коры и погружением сопряженных впадин (грабен) Амурского и Уссурийского заливов. В частности, тектоническое погружение прибрежных зон полуострова подтверждается отсутствием высоких морских террас [3]. Процессы разрушения и выравнивания сосредоточены в основном в зонах разломов. Эндогенные процессы растяжения земной коры тектонически дробят монолитные морфоструктуры на отдельные низкоранговые блоки. В разломных границах последних сосредотачиваются ЭГП. При этом эндогенные геологические процессы контролируют размещение и интенсивность экзогенных, а вместе они ведут к денудационно-аккумулятивному выравниванию.

Общая же (относительная) степень деструкции морфоструктур п-ова Муравьева-Амурского увеличивается с северо-востока на юго-запад. Наиболее активными являются зоны взаимодействия тектонопар «впадина — поднятие».

Достоверность указанных выводов и эффективность методики исследования дополнительно продемонстрируем на примерах типовых объектов прибрежных зон.

### Полуостров Шкота

Морфоструктурный план полуострова Шкота отражен на рис. 3. Вдоль западного побережья п-ва Муравьева-Амурского протягивается узкая полоса (3–4 км) холмисто-увалистого рельефа с фоновыми высотами 80–120 м. Поверхность расчленена многочисленными балками, оврагами и промоинами глубиной до 10 м. Ввиду того что территория сильно освоена, профили склонов и междуречий изменены, сnivelированы. Несмотря на это, сохранились отдельные продолговатые холмы, которые возвышаются на метры — десятки метров. Их наклон составляет 5–7° с возрастанием до 20° в прибрежной полосе, и они часто завершаются скальными береговыми обрывами и откосами.

*Морфоструктура полуострова Шкота*, как указывалось ранее, находится в зоне геодинамического влияния Муравьевского Западного глубинного разлома, который на суше представляет собой систему субпараллельных сближенных трещин северо-восточного, а также дугового и диагонального простирания. По ним развиваются линейные коры выветривания, которые часто сливаются. Отмеченные выше холмы представляют собой небольшие блоки — относительные целики. Овраги и промоины чаще всего формируются по дуговым и диагональным разломам. О насыщенности территории разломами свидетельствует строение южной и северной (района сопки Тигровая) частей п-ова Шкота, где плотность дизъюнктивов по данным не только морфоструктурных, но и геологических съемок велика. Дуговые и диагональные разломы ограничивают ступени низших рангов, которые постепенно спускаются к берегу моря, а также прослеживаются по батиметрическим данным в пределах акватории. Но картина осложняется наличием целиков и бухтовых образований. В целом морфоструктура полуострова является частью верхней опущенной ступени рельефа,



связанной с формированием впадины Амурского залива и бухты Золотой Рог, одновременно представляя собой автономный остаточный горст [14].

О строении подводного берегового склона, подножие которого опускается до глубины 20 м, известно мало, но он (по геоморфологическим и геофизическим данным) находится в зоне Муравьевского Западного разлома. Это служит основанием для отнесения данной морфоструктуры к нижней опущенной ступени рельефа, которая является также частью зоны перехода от положительной морфоструктуры к отрицательной. Такую же позицию занимает грабен — бухта Золотой Рог.

### Южная часть полуострова Муравьева-Амурского

Морфоструктурная схема южной части полуострова Муравьева-Амурского изображена на рис. 4. Основная черта его морфоструктурного плана — сложные сочленения зон геодинамического воздействия разломов Муравьевский Восточный и Босфор Восточный. Поэтому здесь сосредоточены выявленные по комплексу геоморфологических, геологических и геофизических данных низкопорядковые дизъюнктивы северо-западного направления (фрагменты разломов грабена Босфор Восточный), субширотного (грабен бухты Золотой Рог, долина р. Обьяснения, бухта Улисс, перешейки по-

луостровов Назимова и Басаргина), северо-восточного (Уссурийский залив, бухта Диомид, верховья р. Обьяснения и др.), а также субмеридионального простира- ния (долина реки Улисс и др.).

На дне пролива Босфор Восточный система отдельных небольших разрывных нарушений образует в плане единую дуговую разломную зону большого радиуса, обращенную выпуклостью на северо-восток. Разломы здесь имеют преимущественно взброс- сбросовую и сдвиго-сбросовую кинематику. Попереч- ные им разломы северо-восточного простира- ния, как предполагают А.В. Олейников, Н.А. Олейников [11] и другие (по данным геофизики, бурения и геологи- ческого картирования прибрежных территорий), ча- сто оказываются кайнозойскими левосторонними сдвигами с амплитудами до 100 м. В северной части острова Русский упомянутыми геологами ПГО «При- мгеология», а также специалистами Института физи- ки Земли РАН (г. Москва) на п-ове Назимова незави- симо друг от друга были обнаружены палеосейсмо- дислокации, что вместе с инструментальными данны- ми по эпицентрам землетрясений позволяет предпо- лагать фоновую 8-балльную сейсмическую опасность по шкале MSK-64 [9, 11]. В северо-западной части пролива Босфор Восточный закартированы относи- тельно мощные (до 35 м) кайнозойские морские осад-

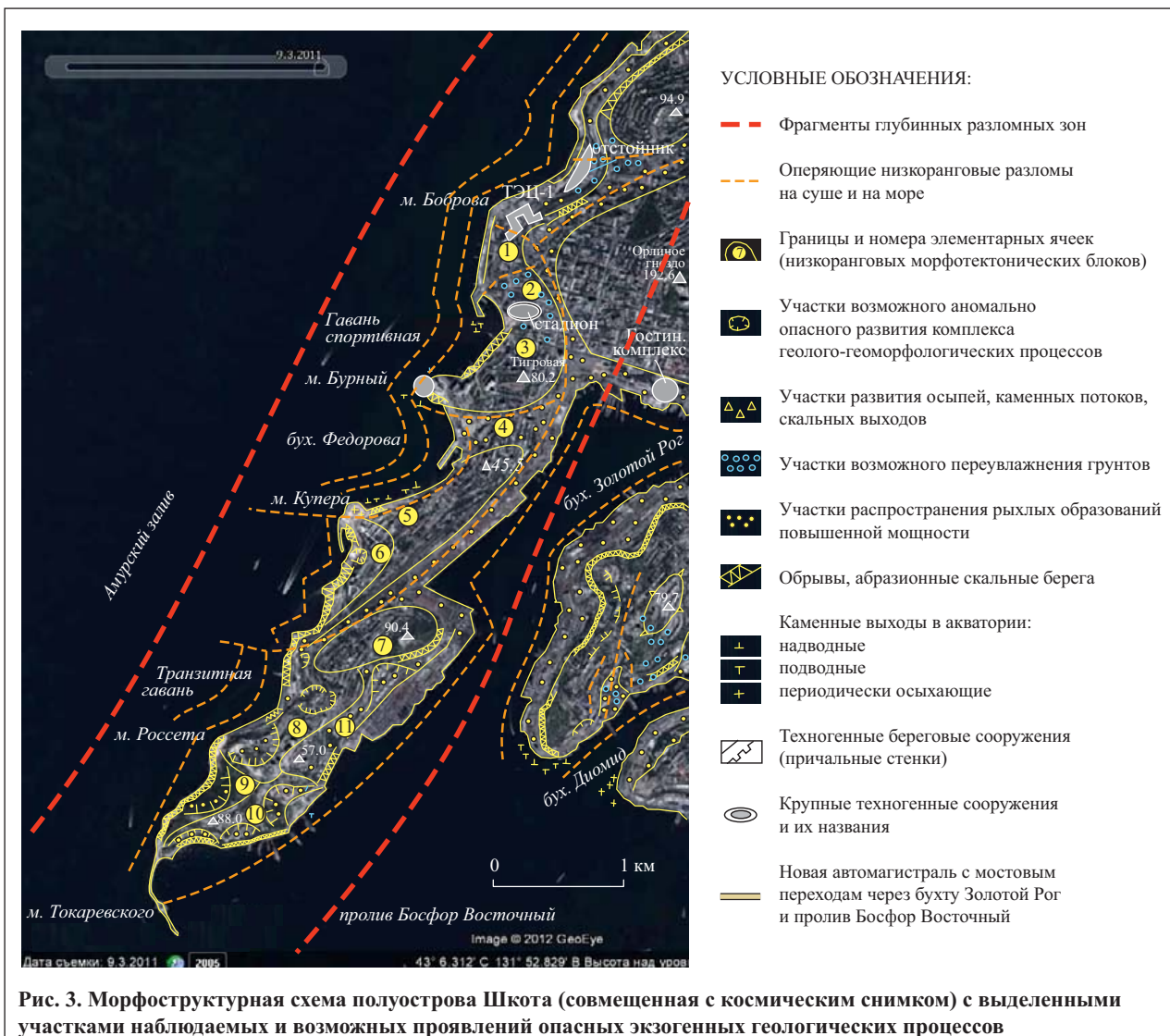
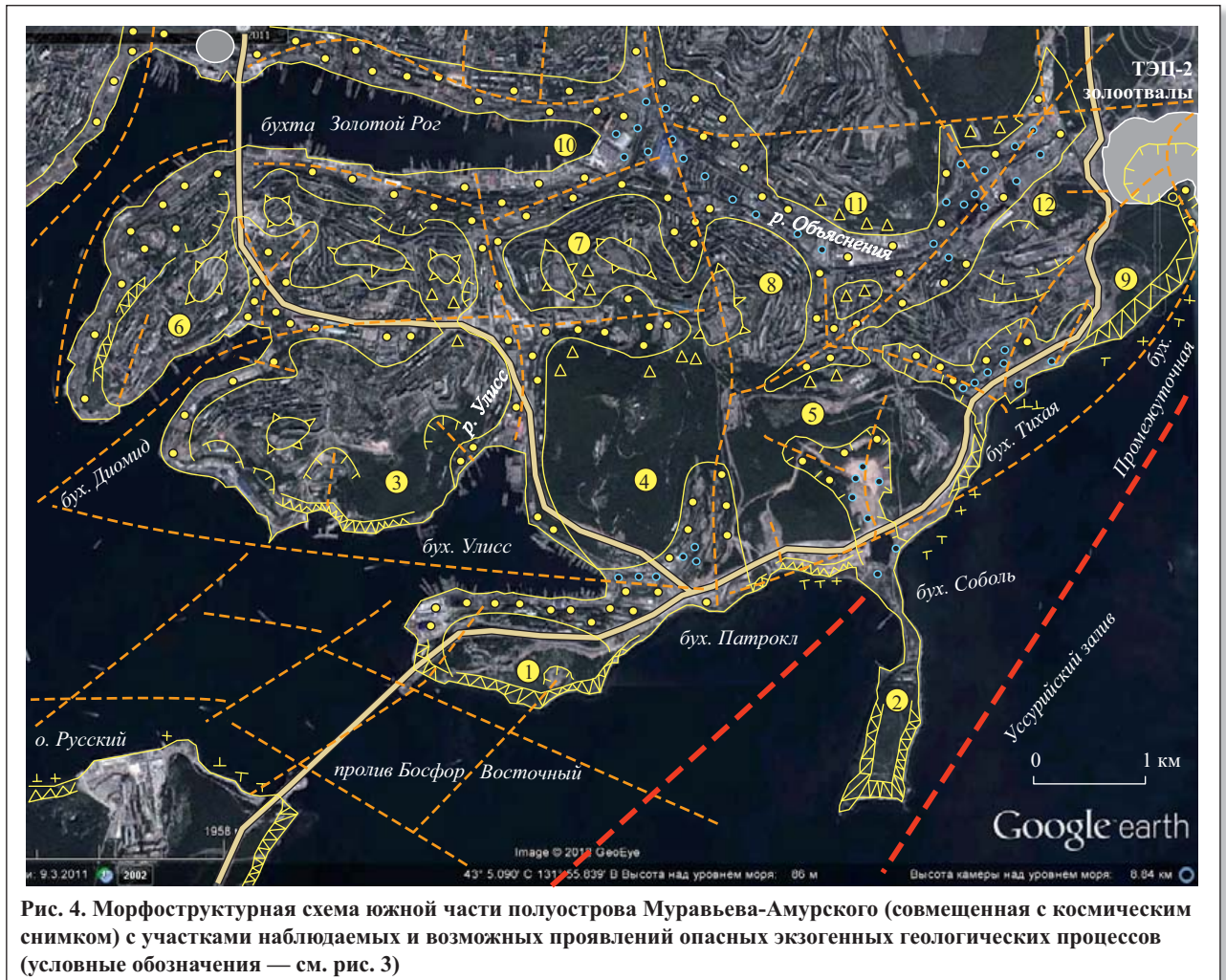


Рис. 3. Морфоструктурная схема полуострова Шкота (совмещенная с космическим снимком) с выделенными участками наблюдаемых и возможных проявлений опасных экзогенных геологических процессов



**Рис. 4.** Морфоструктурная схема южной части полуострова Муравьева-Амурского (совмещенная с космическим снимком) с участками наблюдаемых и возможных проявлений опасных экзогенных геологических процессов (условные обозначения — см. рис. 3)

ки одноименной впадины (грабена), указывающие на ее относительно большее погружение.

Далее к северу от грабена пролива Босфор Восточный последовательно чередуются следующие прибрежные ступени суши (блоки отседания):

- нижняя опущенная ступень зоны полуостровов Назимова (блок 1) и Басаргина (блок 2), сопряженных с соответствующими блоками акватории;
- средняя относительно приподнятая ступень (блоки 3, 4, 5, 9);
- верхняя приподнятая ступень (блоки 6, 7, 8);
- нижняя опущенная ступень залива Золотой Рог и долины р. Объяснения (блоки 10, 11, 12).

Отмеченные блоки сложены верхне-нижнепермскими образованиями поспеловской свиты (преимущественно песчаниками и алевролитами косой слоистости с органическими остатками). Эти осадочные и вулканогенно-осадочные пачки, переслаивающиеся туфами и лавами андезитов, прорваны многочисленными экструзиями и штоками позднего мела (блоки 6, 7, 8 и частично 3). В пределах блоков 9 и 12 закартированы серии даек северо-восточного простирания (диорит-порфиоров позднепермского возраста) [17].

В результате морфоструктурных исследований авторами были выделены три основных прибрежных участка вдоль берегов бухт Промежуточная, Тихая, Патрокл (по территориям которых проходит новая автомагистраль), потенциально опасных в отношении развития оползней, оплывин, промоин, просадок и других опасных геологических процессов, а также возможного пе-

реувлажнения грунтов (см. рис. 4). 12 июня 2012 г. в пределах одного из этих участков (вдоль бухты Тихая) в блоке 9 сошел оползень, а в сентябре того же года, но немного севернее произошел небольшой обвал и возникли селевые потоки, нарушившие соответствующий участок новой автомагистрали Седанка — Патрокл, что было широко освещено в средствах массовой информации. Последовавший срочный «косметический» ремонт дороги, по мнению авторов, не решил саму проблему, а уверения руководителей, что «все будет хорошо», могут иметь в будущем опасные геоэкологические последствия.

Остановимся только на очевидных с точки зрения авторов примерах недостаточного учета проектировщиками и строителями всей сложности комплекса инженерно-геологических и антропогенных условий строительства автомагистрали на участке побережья бухты Тихая. Судя по сообщениям средств массовой информации, «среди главных причин ЧП были названы отсутствие водоотводов и наличие родников под трассой, не выявленных во время изыскательских работ» [4]. Последние, руководствуясь общими правилами и логикой, обязаны были учитывать работы предшественников (А.И. Бурдэ, В.С. Рынков, и др.<sup>1</sup>), которые еще в 1961 г. закартировали здесь небольшие водотоки и овраги. Тот факт, что в последующем их засыпали, а местами и заасфальтировали, не означает, что соответствующие процессы прекратились. Просто они перешли из разряда поверхностных в скрытые подземные. Поскольку гидрологические данные в пре-

делах г. Владивостока действительно практически отсутствуют, в условиях недостатка информации и слабой инженерно-геологической изученности морфоструктурные построения авторов (в частности, результаты дешифрирования аэрофотоснимков и топокарт совместно с анализом имеющихся инженерно-геоморфологических и геологических материалов) показали, что вышеуказанные водотоки, родники и овраги, по видимому, заложены по небольшим разломам. Следовательно, особенности гидрогеологических условий связаны с ними, при этом водотоки и родники могут иметь как поверхностное, так и подземное питание. На их проявления наложены еще и техногенные факторы.

На рисунках 5, 6 показаны некоторые ландшафтные и геоморфологические признаки соответствующих геологических процессов и явлений, зафиксированные на точечных АФС в первые дни после ЧП, когда строители только начали их устранять. Отчетливо видно, что оползень охватил не только 150 м<sup>2</sup> обрушения дорожного откоса, ограниченного на проезжей части трещиной длиной 20 м и шириной 2 см, как было указано в СМИ [4]. На перспективном АФС видно, что зона проявления оползня совпадает с участком потенциальной

опасности развития экзогенных геологических процессов, отраженным авторами на морфоструктурной схеме вблизи узла разрывных нарушений общей площадью 2 км<sup>2</sup> (см. рис. 4). Кроме того, дешифрируется как само тело оползня (а), так и зоны относительно повышенных (б) и менее значительных (в, г) деформаций откоса (в основном промоины и просадки грунта) с обеих сторон моста (рис. 5). При этом насыпь автотрассы, а также (в меньшей степени) дорожная насыпь грунтовой дороги, ограничивающая водозаборный «ковш» ТЭЦ-2, выступают как своеобразные галереи водоупоров поверхностных и подземных гидродинамических потоков.

В результате авторами были сделаны следующие предварительные (поскольку специальные полевые исследования не проводились) выводы:

- возникновение оползня предопределено комплексом геологических факторов (энтодинамических, экзодинамических и технодинамических);
- потенциальная угроза проявлений опасных геологических процессов остается высокой и будет таковой в ближайшем будущем, если не провести дополнительных изысканий и укрепления дорожного участка;

<sup>1</sup> Указаны авторы источников из геологических фондов.



Alexander Khitrov | alexhitrov.livejournal.com

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:



Контур участка, потенциально опасного в отношении развития оползней, промоин, просадок и обводнения



Произошедшие оползневые деформации техногенной поверхности справа от мостового проема:  
а — наибольшей, б — средней; в — низкой степени



Незначительные признаки (промоины) деформации откоса автотрассы слева от мостового проема

**Рис. 5. Общий вид техногенных оползней на откосе автотрассы с габионовой подпорной стенкой на участке бухты Тихая (аэроснимок А. Хитрова)**



Рис. 6. Центральная часть оползня с наибольшей степенью деформаций грунта на участке автотрассы в районе бухты Тихая (фото А. Хитрова)

- примененные строителями новые технологии укрепления полотна габионными сетками (высота сборной стенки составила 30 м) в данном случае себя не оправдали — по-видимому следует установить анкеры или единую железобетонную подпорную стенку с обязательным дренажем;

- в сложившейся ситуации необходим эксплуатационный мониторинг опасных геологических процессов специалистами по инженерной геологии и геоморфологии.

Справедливости ради следует отметить, что подобные и другие нарушения как объектов АТЭС-2012, так и других сооружений, например объектов строящегося в настоящее время нового микрорайона в прибрежной зоне бухты Патрокл (см. блок 5 на рис. 4), отмечались ранее и будут происходить в будущем. Одной из основных причин ЧП (помимо ошибок проектировщиков и строителей) является сложность и специфика инженерно-геологических условий прибрежных зон п-ова Муравьева-Амурского. Например, автотрасса часто слишком приближена к береговой полосе, где бровка дорожного откоса вплотную стыкуется с крутой (до  $65\text{--}70^\circ$ ) стенкой скольжения по плоскостям напластования вулканогенно-осадочных толщ или разломов (рис. 7). В таких случаях смещение слабо связанных грунтов, отдельных глыб и блоков горных пород оказывается под воздействием не только гравитационных экзогенных геологических процессов, но и морского прилива и возможных цунами, что также может иметь опасные последствия инженерно-геологического и геоэкологического характера [5, 11, 14].



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:



Области концентрации ЭГП и аккумуляции отложений (с пояснениями)



$65^\circ$  Угол падения плоскостей скольжения

Рис. 7. Обвально-осыпной склон в зоне волноприбойного воздействия вблизи автотрассы в юго-западной части бухты Тихая (фото В.В. Коробова)



## Заключение

Проведенный анализ и экспресс-районирование типовых прибрежных зон полуострова Муравьева-Амурского позволяют сделать следующие выводы.


Прибрежные территории полуострова Муравьева-Амурского представляют собой области геодинамического воздействия глубинных разломных зон (разломов Муравьевский Западный, Муравьевский Восточный и Босфор Восточный). Они находятся в так называемых переходных зонах между основными высококоранговыми тектонопарами «поднятия (горст Муравьева-Амурского) — опускание (грабены Амурского и Уссурийского заливов, а также пролива Босфор Восточный)». При этом локальные морфоструктуры прибрежных зон наследуют не просто смежные структурно-геоморфологические элементы высококоранговых морфоструктур, а особенно те, которые оставались длительное время тектонически активными с зачастую разнонаправленными интенсивными движениями. В настоящее время они также развиваются в целом унаследованно.

Внутренняя инфраструктура прибрежных территорий образуется системой останцов (целиков), разделенных тектоническими понижениями. Последние почти полностью покрыты преимущественно линейными коврами выветривания, которые могут свидетельствовать о рассеянном типе растяжений. Интенсивность раздробленности пород в пределах целиков значительно слабее, чем в смежных понижениях. Именно такие зоны повышенной раздробленности и трещиноватости подвергаются наиболее интенсивной денудации с аномально высокими скоростями выноса материала.

Прибрежные зоны полуострова Муравьева-Амурского в основном испытывают тектоническое погружение, о чем свидетельствует, в частности, отсутствие высоких морских террас и активное разрастание смежных грабенообразных впадин. В осевых частях останцовых блоков возможны слабые компенсирующие восходящие движения.

На основании совместного анализа геоморфологических, геологических и антропогенных проявлений на морфоструктурной основе выделены локальные участки аномального развития обвалов, оползней и других опасных геологических процессов, а также участки возможного переувлажнения грунтов. Их размещение и характер проявлений контролируются прежде всего морфотектоническими факторами, а техногенные факторы их усиливают. Эти закономерности использованы при экспресс-районировании слабоизученных в инженерно-геологическом отношении урбанизированных территорий.

В дальнейшем, по мнению авторов, наиболее актуальным является детальный анализ процессов и явлений в пределах всех потенциально опасных участков в отношении эндо-, экзо- и технодинамического риска разрушения как отдельных объектов, так и в целом сложившейся инфраструктуры урбанизированных территорий.

Авторы данной статьи считают, что в методологическом плане перед детальным инженерно-геологическим районированием следует проводить комплексную геоморфологическую и геологическую оценку прибрежных зон на морфоструктурной основе, особенно в пределах слабоизученных урбанизированных территорий Дальневосточного региона. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакланов П.Я. Структурные особенности и стадии развития приморских территориально-акваториальных хозяйственных комплексов // Методологические проблемы комплексного хозяйственного освоения океана и прибрежных районов: материалы конференции «Экономика океана», Владивосток, 1978 г. Вып. 6. С. 25–27.
2. Карта оценки экологического состояния Владивостока. Масштаб 1:25 000 / под ред. А.И. Бурого. Владивосток: Дальнаука, 1995.
3. Кулаков А.П. Четвертичные береговые линии Охотского и Японского морей. Новосибирск, 1973. 187 с.
4. Кожин С. Габионовый скандал // Аргументы и факты. 2012. № 26. С. 5.
5. Короткий А.М., Коробов В.В. Районирование прибрежной зоны залива Петра Великого (Японское море) // Исследование и конструирование ландшафтов Дальнего Востока и Сибири. Владивосток: Дальнаука, 2005. Вып. 6. С. 128–158.
6. Кофф Г.Л., Фарафонов А.Э., Беккер А.Т., Аникеев В.В. Априорный анализ сейсмической уязвимости жилой застройки г. Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2008. 206 с.
7. Мясников Е.А. Геоэкология: комплексная геодинамическая опасность урбанизированных территорий Дальневосточного региона России // Инженерная экология. 2009. № 5. С. 3–21.
8. Мясников Е.А., Невский В.Н. Об эколого-геоморфологических условиях строительства объектов Азиатско-Тихоокеанского экономического саммита в г. Владивостоке // Экология урбанизированной территории. 2010. № 1. С. 45–50.
9. Овсюченко А.Н., Новиков С.С. Новые данные о сейсмической опасности района г. Владивостока по материалам геологических исследований // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: материалы Косыгинских чтений. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011. С. 417–420.
10. Окружающая среда и здоровье населения Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 1998. 216 с.
11. Олейников А.В., Олейников Н.А. Палеосейсмогеология. Владивосток: Дальнаука, 2009. 164 с.
12. Осипов В.И. Геоэкология — наука об экологических проблемах геосфер // Геоэкология. 1993. Т. 1. С. 4–18.
13. Свинухов В.Г. Экология атмосферы городов Приморского края. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 1997. 140 с.
14. Тащи С.М., Мясников Е.А. Геолого-геоморфологические системы территории агломерации Владивосток — Артем. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. 181 с.
15. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Современная парадигма геологии и теоретические задачи инженерной геологии // Геоэкология. 2000. № 2. С. 174–183.
16. Уфимцев Г.Ф., Онухов Ф.С., Тимофеев Д.А. Терминология структурной геоморфологии и неотектоники. М.: Наука, 1979. 255 с.
17. Geologic map of Vladivostok and its environs. Scale 1:125000 / edited by A. Khanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 1994.



# ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАСОМАТИТОВ СЕРПЕНТИНИТОВОЙ ФОРМАЦИИ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

## PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE SERPENTINITE FORMATION METASOMATITES OF THE BAZHENOVSKOYE CHRYSOTILE-ASBESTOS DEPOSIT

### АЛЕКСЕЕВ А.Ф.

Доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета, к.г.-м.н., г. Екатеринбург, Alekseev\_af@e1.ru

### ГРЯЗНОВ О.Н.

Заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета, д.г.-м.н., профессор, г. Екатеринбург, Gryaznov.O@ursmu.ru

### ALEKSEEV A.F.

Associate professor of the department of hydrogeology, engineering geology and geoecology of the Ural State Mining University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Yekaterinburg, Alekseev\_af@e1.ru

### GRYAZNOV O.N.

Head of the department of hydrogeology, engineering geology and geoecology of the Ural State Mining University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), professor, Yekaterinburg, Gryaznov.O@ursmu.ru

### Ключевые слова:

хризотил-асбест; серпентиниты; метасоматиты; перидотиты; физико-механические свойства; асбестоносность; Баженовское месторождение хризотил-асбеста.

### Key words:

chrysotile-asbestos; serpentinites; metasomatites; peridotites; physical-mechanical characteristics; asbestos content; Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit.

### Аннотация

**В статье рассмотрены основные черты геологии Баженовского месторождения хризотил-асбеста, степень серпентинизации перидотитов, типы серпентинитов по минеральному составу, типы асбестоносности, физико-механические свойства пород.**

Месторождения хризотил-асбеста, условия их образования и закономерности размещения изучены достаточно хорошо. Вместе с тем окolorудные серпентиниты и сопряженный с ними асбест впервые рассмотрены в качестве единой рудоносной метасоматической формации в монографии [3].

Серпентинизация — чрезвычайно широко распространенный процесс изменения ультраосновных пород складчатых областей независимо от их состава, происхождения и возраста. Петрогенетическим вопросам этой важной проблемы посвящено множество отечественных и зарубежных публикаций. Серпентинизация проявляется в двух видах — региональном и локальном. В первом случае она отражает ранние процессы регионального метаморфизма, во втором выступает как более поздний процесс около- и пострудного преобразования пород. Промышленно асбестоносными [6] являются высокомагнезиальные альпинотипные гипербазиты дунит-гарцбургитовой ассоциации (Баженовского, Джетыгаринского, Киембаевского месторождений) и отчасти умеренно магнезиальные породы пироксенит-перидотитового ряда (Мойвинского месторождения).

Все массивы альпинотипных гипербазитов (Кемпирсайский, Халиловский, Хабарнинский и др.) дунит-гарцбургитовой формации, располагаясь во внутренней части Уральской складчатой области, контролируются Главным уральским глубинным разломом первого порядка, проходящим по границе миогеосинклинальной и эвгеосинклинальной зон, и глубинными разломами второго порядка, разделяющими крупные тектонические структуры (Тагило-Магнитогорский прогиб и Восточно-Уральское поднятие, Восточно-Уральское поднятие и Восточно-Уральский прогиб). На стыках региональных поднятий и прогибов масси-

### Abstract

**The article considers the main geological features of the Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit, the serpentinization degree of the peridotites, types of the serpentinites by the mineral composition, types of the asbestos content, physical-mechanical characteristics of the rocks.**



вы образуют пояса протяженностью в сотни километров. Примерами могут служить Серовско-Невьянский (Восточно-Тагильский массив и др.), Асбестовско-Алапаевский (Алапаевский, Режевской, Баженовский массивы), Полтавско-Киембайский (Киембайский массив и др.) и Джетыгаринско-Аккаргинский (Джетыгаринский массив и др.) пояса [4].

Размещение месторождений хризотил-асбеста определяется вещественным составом ультраосновных пород и геолого-тектонической позицией массивов. Среди гипербазитов Урала преобладают перидотиты типа гарцбургитов. Месторождения хризотил-асбеста локализуются в гарцбургитовых, дунит-гарцбургитовых или пироксенит-гарцбургитовых массивах при воздействии на них гранитоидов. Под влиянием геосинклинальных гранитоидов базальтоидного происхождения образуются средние и мелкие месторождения баженовского и лапинского подтипов, а при воздействии орогенных сиалических гранитоидов — крупные и уникальные месторождения хризотил-асбеста баженовского подтипа. При этом месторождения формируются на уровне апикальных и

средних частей массивов гранитоидов. Асбестообразование происходит в результате воздействия на гарцбургиты постмагматических растворов. Выделяют три возрастные группы месторождений хризотил-асбеста в ультраосновных породах дунит-гарцбургитовой формации Урала: позднесилурийскую — раннедевонскую (425–380 млн лет), позднедевонскую — раннетурнейскую (380–345 млн лет) и позднепалеозойскую (320–260 млн лет). Баженовское, Джетыгаринское, Киембайское и другие месторождения относятся к третьей группе.

**Баженовское месторождение** приурочено к восточному эндоконтакту одноименного массива ультраосновных пород, прорванных интрузивом верхнепалеозойских гранитов. На месторождении выделено 36 крупных залежей. Их длина по простиранию варьирует от 20 м до 4,5 км при изменении мощности от 40 м до 1,4 км. В плане их форма неправильная, эллипсоидная или линзообразная; в вертикальном разрезе — трубовидная или чашеобразная (для эродированных тел). Залежи характеризуются зональным строением (рис. 1). В центре располагается ядро неасбестоносных серпентинизиро-

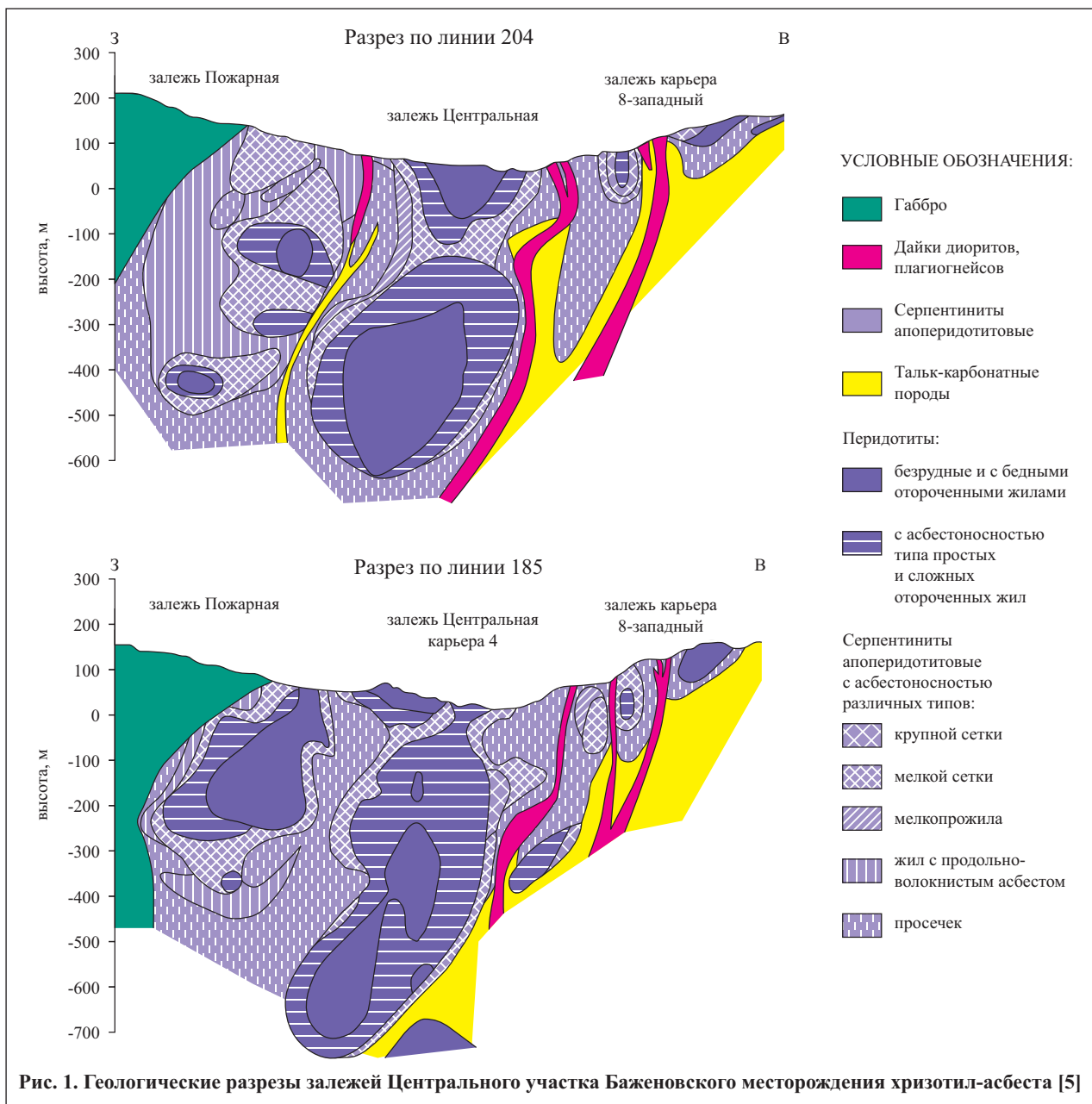


Рис. 1. Геологические разрезы залежей Центрального участка Баженовского месторождения хризотил-асбеста [5]

ванных пироксеновых дунитов или перидотитов, а при их отсутствии — перидотитов с отороченными жилами асбеста. От ядра к периферии прослеживается смена типов асбестоносности: отороченные жилы, крупная и мелкая сетка, мелкопрожилок, серпентиниты с просечками поперечно- и продольно-волокнистого асбеста. Далее следуют рассланцованные серпентиниты и дайки гранитоидов. Последние фиксируют зоны рудоконтролирующих разломов. Встречаются залежи с асбестоносностью одного-двух типов [2, 5].

Хризотил-асбест развивается по регионально серпентинизированным гипербазитам при различной интенсивности дорудного изменения пород и сопровождается локальной околожильной (околорудной) серпентинизацией.

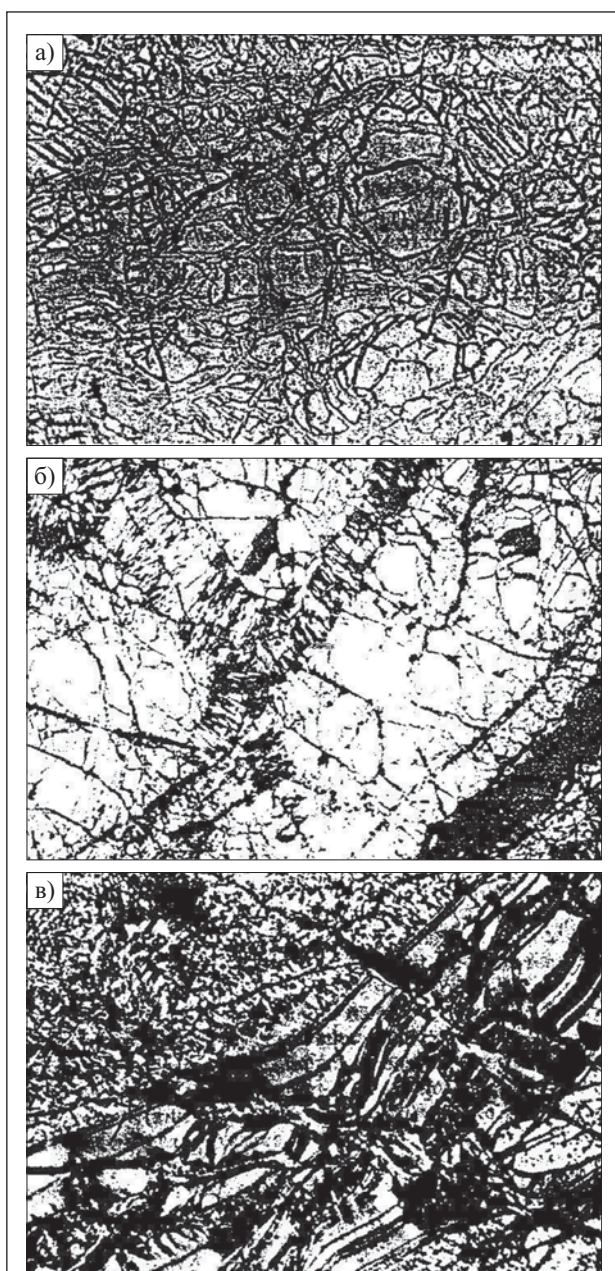


Рис. 2. Замещение оливина петельчатым лизардитом (а), гребенчатым антигоритом (б) при зеленокаменном метаморфизме и развитие ленточного лизардита при зеленосланцевом метаморфизме гипербазитов (в). Увеличение 30 (а — без анализатора; б, в — с анализатором)

*Региональная (дорудная) серпентинизация ультраосновных пород* проявляется на ранних этапах развития складчатых зон. Массовое преобразование ультраосновных пород происходит в период их внедрения в земную кору и по времени совпадает с рифтогенно-геосинклинальной стадией развития подвижных поясов и становлением в земной коре пород офиолитовой ассоциации. Метаморфизм ультраосновных пород этой стадии выражается в их равномерной первичной петельчатой серпентинизации. Эта первичная петельчатая серпентинизация отождествляется авторами с зеленокаменным типом регионального метаморфизма и впервые подробно описана в специальной монографии [7].

В зонах зеленокаменного перерождения гипербазиты подвергаются петельчатой лизардитизации, частично и реже — первичной антигоритизации. Такая ранняя серпентинизация характеризуется прежде всего своей незавершенностью, что выражается в частичном замещении главных породообразующих минералов (в основном оливина, так как пироксен на этой стадии метаморфизма более устойчив к явлениям серпентинизации) петельчатым лизардитом и гребенчатым антигоритом (рис. 2). В результате в таких частично лизардитизированных и антигоритизированных серпентинитах хорошо сохраняются первичные структуры и текстуры исходных материнских пород. Второй особенностью описываемой серпентинизации является отсутствие в породах магнетита, свойственного продуктам более поздних стадий преобразования гипербазитов.

*Локальная серпентинизация* относится к околорудному метасоматозу (по Д.С. Коржинскому) и выступает в качестве рудообразующего процесса, с которым генетически связано формирование хризотил-асбеста. Она развивается в прогрессивных условиях среднетемпературного метасоматоза при воздействии постмагматических растворов на регионально серпентинизированные гипербазиты. Первично серпентинизированные породы при этом перекристаллизуются с образованием лизардита-2, а затем хризотила и микроантигорита. Лизардитизация сопровождается выделением магнетита. Одновременно с хризотилизацией пород происходило переотложение выщелоченных компонентов и образование в трещинах жил хризотил-асбеста (рис. 3). Между мощностью жил и шириной серпентинитовых оторочек устанавливаются определенные соотношения, зависящие от состава первичных гипербазитов, степени их дорудного преобразования и интенсивности «рудной» хризотилизации. Конечный результат серпентинизации гипербазитов — возникновение пострудного антигорита. Основываясь на петрографической характеристике серпентинитов, метасоматическую колонку гидротермальной серпентинизации с хризотил-асбестом по автосерпентинизированному гарцбургиту можно представить в следующем виде: оливин, лизардит-1, антигорит-1, бастит, хромшпинелид — лизардит-2, магнетит — хризотил, антигорит-2, магнетит — хризотил-асбест, магнетит [3]. Серпентинизация осуществляется под воздействием растворов с температурой ниже 370 °С при варьирующем давлении воды и рН раствора. Дорудная лизардитизация и хризотилизация вызываются слабокислыми растворами, а отложения хризотил-асбеста — слабощелочными.

Изучение физико-механических свойств гипербазитов в зависимости от степени и минерального типа сер-



пентинизации на примере перидотитов Баженовского месторождения выявило интересные закономерности.

Общее количество проб перидотитов составило 147, серпентинитов — 145. По степени серпентинизации перидотиты разделены на три группы — слабо-, средне- и сильносерпентинизированные. На первую группу (до 30% серпентиновых минералов по объему) пришлось 69 проб, на вторую (30–70%) — 49, на третью (более 70%) — 29. Минимальные, максимальные и средние значения показателей физико-механических свойств трех групп перидотитов и серпентинитов приведены в таблице. Ее анализ свидетельствует, что с увеличением степени серпентинизации перидотитов происходит снижение средних значений плотности, коэффициента крепости, предела прочности на сжатие, скорости продольных волн и модуля упругости при одновременном увеличении пористости и водопоглощения.

Физико-механические свойства перидотитов наряду со степенью серпентинизации зависят также от минерального типа серпентинизации, т.е. от состава и свойств серпентиновых минералов (рис. 4). В направлении «антигоритовые — лизардитовые — хризотилитовые серпентиниты» (через смешанные разности) уменьшаются плотность, коэффициент крепости, предел прочности на сжатие, скорость продольных волн, модуль упругости и увеличивается водопоглощение пород.

В процессе региональной и локальной (гидротермально-метасоматической) серпентинизации перидотитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста происходит последовательная перестройка структур горных пород, что отражается на их физико-механических свойствах. На раннем этапе серпентинизации гипидиоморфнозернистая структура перидотита трансформируется в мелкопетельчатую в связи с замещением оливина лизардитом первой генерации. Это приводит к снижению плотности и модуля упругости. При замещении лизардита-1 антигоритом первой генерации мелкопетельчатая структура

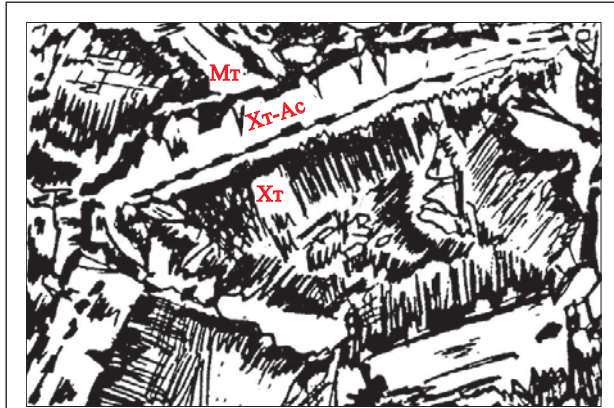


Рис. 3. Характер развития волокнистого хризотила (Хт) в зальбандах прожилков хризотил-асбеста (Хт-Ас). Зарисовка шлифа (увеличение 50). Мт — магнетит

перекристаллизовывается в крупнопетельчатую (решетчатую). Это обуславливает повышение плотности и модуля упругости у антигоритизированных серпентинитов.

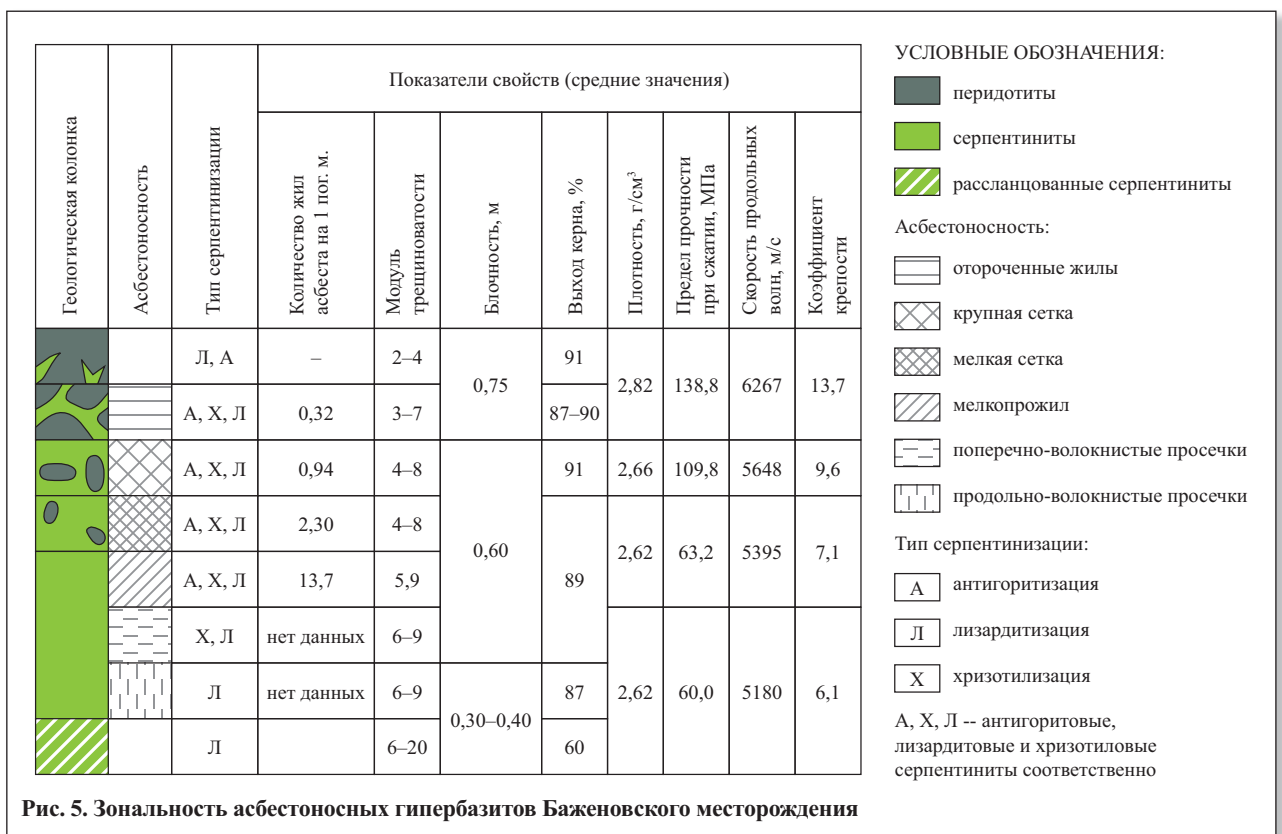
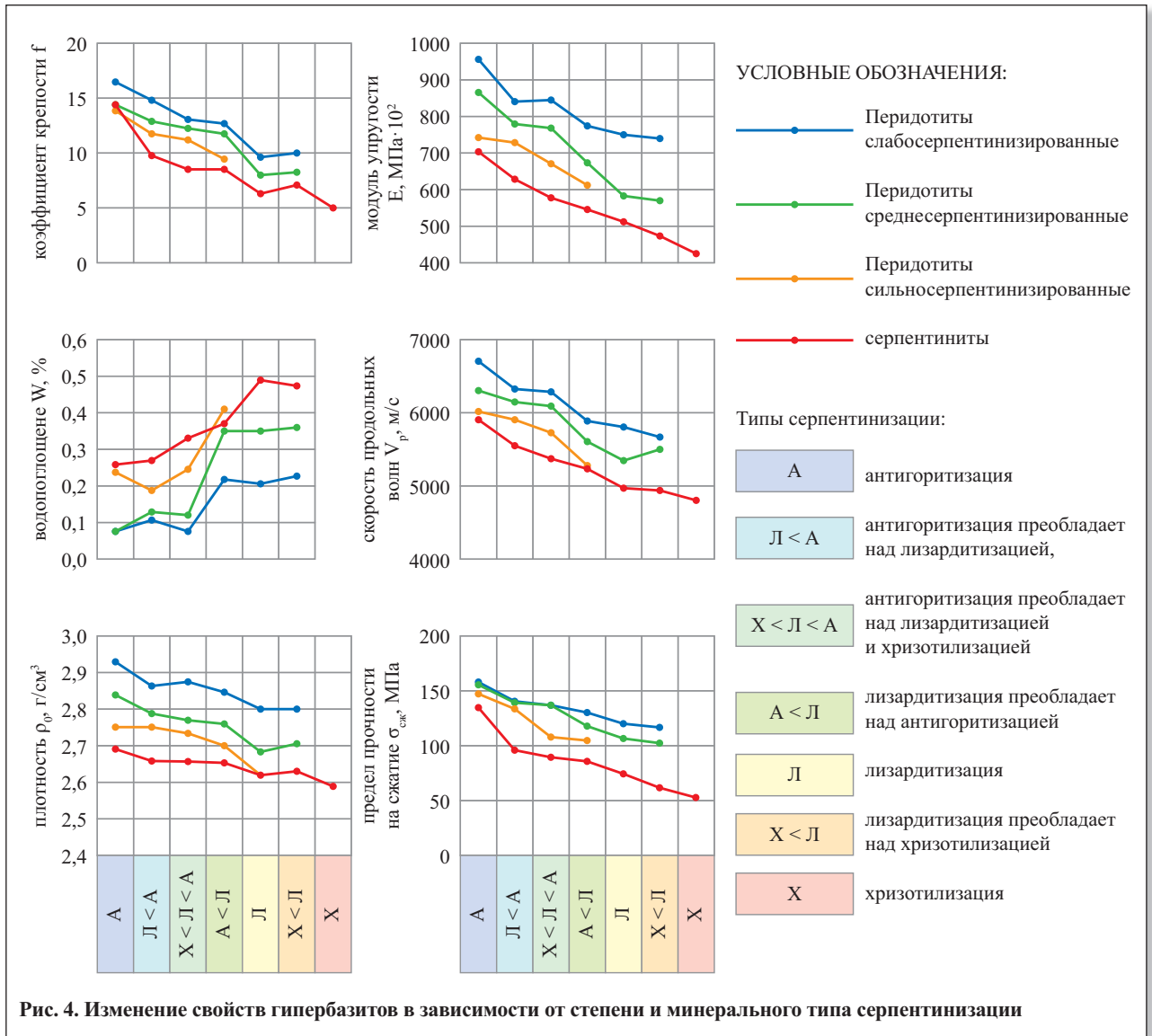
На этапе гидротермально-метасоматической серпентинизации пластинчатый лизардит второй генерации замещает реликты первичных минералов, что приводит к снижению показателей плотностных и механических свойств серпентинитов. На стадии прогрессивного метасоматоза петельчато-пластинчатые, решетчатые и другие структуры лизардита-1 и -2, антигорита-1 сменяются игольчатыми, лейстовидными, брусчатыми структурами антигорита второй генерации. Перекристаллизация сопровождается уплотнением пород и повышением прочности вновь образованных антигоритовых серпентинитов.

Конечным результатом процесса гидротермально-метасоматической серпентинизации является кристаллизация хризотил-асбеста вследствие переотложения компонентов, выщелоченных при антигоритизации-лизардитизации-хризотилизации перидотитов в трещин-

Таблица

| Изменения физико-механических свойств перидотитов в зависимости от степени серпентинизации |   |                        |                               |       |      |                   |                  |                     |             |                           |                  |
|--|---|------------------------|-------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|---------------------|-------------|---------------------------|------------------|
| Группа пород   | Количество серпентиновых минералов по объему, % | Индекс серпентинизации | Физико-механические свойства* |       |      |                   |                  |                     |             |                           |                  |
|  |   |                        | $\rho$ , г/см <sup>3</sup>    | n, %  | W, % | $f_{кр}$ без-разм | $\sigma_p$ , МПа | $\sigma_{сж}$ , МПа | $V_p$ , м/с | $E$ , МПа×10 <sup>2</sup> | $\mu$ , без-разм |
| Слабосерпентинизированные перидотиты   | <30   | I                      | 2,73                          | 0,34  | 0,01 | 6,7               | 8,7              | 67,9                | 5184        | 623,6                     | 0,21             |
|  |   |                        | 3,02                          | 3,32  | 0,41 | 25,0              | 32,4             | 192,7               | 7250        | 1138,0                    | 0,32             |
|  |   |                        | 2,86                          | 1,11  | 0,14 | 13,2              | 19,4             | 136,0               | 6187        | 824,7                     | 0,29             |
|  |   |                        | (65)                          | (53)  | (43) | (51)              | (46)             | (62)                | (63)        | (53)                      | (51)             |
| Среднесерпентинизированные перидотиты  | 30–70   | II                     | 2,64                          | 0,69  | 0,03 | 6,0               | 9,1              | 75,0                | 4810        | 465,5                     | 0,27             |
|  |   |                        | 2,89                          | 3,65  | 0,50 | 23,6              | 42,8             | 196,6               | 6673        | 951,3                     | 0,34             |
|  |   |                        | 2,77                          | 1,49  | 0,16 | 12,0              | 20,5             | 132,8               | 5956        | 733,4                     | 0,30             |
|  |   |                        | (46)                          | (30)  | (25) | (45)              | (28)             | (48)                | (42)        | (33)                      | (33)             |
| Сильносерпентинизированные перидотиты  | 70–100  | III                    | 2,58                          | 0,70  | 0,08 | 7,5               | 14,5             | 86,0                | 4270        | 500,0                     | 0,25             |
|  |   |                        | 2,88                          | 3,27  | 0,73 | 26,3              | 30,6             | 191,9               | 6314        | 879,7                     | 0,34             |
|  |   |                        | 2,72                          | 1,57  | 0,26 | 11,9              | 19,3             | 126,1               | 5652        | 669,1                     | 0,301            |
|  |   |                        | (27)                          | (20)  | (19) | (22)              | (16)             | (20)                | (26)        | (21)                      | (21)             |
| Серпентиниты (оливин и пироксен отсутствуют)   | 100   | IV                     | 2,45                          | 0,38  | 0,03 | 3,3               | 5,5              | 7,7                 | 2818        | 451,6                     | 0,19             |
|  |   |                        | 3,02                          | 7,69  | 1,85 | 22,9              | 38,1             | 235,5               | 6690        | 850,2                     | 0,37             |
|  |   |                        | 2,65                          | 1,74  | 0,36 | 8,9               | 14,1             | 83,0                | 5279        | 641,2                     | 0,30             |
|  |   |                        | (144)                         | (112) | (70) | (126)             | (81)             | (112)               | (99)        | (23)                      | (23)             |

\*  $\rho$  — плотность (объемная масса); n — общая пористость; W — водопоглощение;  $f_{кр}$  — коэффициент крепости;  $\sigma_{сж}$  — предел прочности при сжатии;  $\sigma_p$  — предел прочности при растяжении;  $V_p$  — скорость продольных волн; E — динамический модуль упругости;  $\mu$  — коэффициент Пуассона. В ячейках для всех показателей сверху вниз указаны минимальное, максимальное и среднее значения, в скобках — количество определений.





ных структурах (разломах, зонах разномасштабной трещиноватости). При этом различные типы асбестоносности локализуются в различных минеральных типах серпентинитов — антигорит-хризотил-лизардитовых, хризотил-лизардитовых и лизардитовых. Показатели физико-механических свойств уменьшаются от первого к последнему типу асбестоносности (рис. 5).

Отметим, что результаты изучения прочностных характеристик хризотил-асбеста по удельному сцеплению ( $C$ ) и углу внутреннего трения ( $\varphi$ ) свидетельствуют о более высокой прочности поперечноволоконнистого асбеста по сравнению с продольноволокнистым [1].

### Выводы


1. Баженовское месторождение хризотил-асбеста образовалось при воздействии постритических гидротермальных растворов на регионально серпентинизированные гипербазиты.

2. Развитие хризотил-асбеста в трещинных структурах перидотитов обусловлено переотложением компонентов, выщелоченных при локальной гидротермально-метасоматической (околожильной) серпентинизации.

3. Асбестовые залежи построены зонально. От регионально серпентинизированных перидотитов к серпентинитам регистрируется смена типов асбестоносности: отороченные жилы в перидотитах — крупная сетка — мелкая сетка — мелкопрожил — поперечноволоконнистые и продольноволокнистые прожилки в серпентинитах.

4. Различные типы асбестоносности локализуются в различных минеральных типах серпентинитов — антигорит-хризотил-лизардитовых, хризотил-лизардитовых и лизардитовых.

5. Показатели физико-механических свойств уменьшаются в направлении «регионально серпентинизированные перидотиты — слабосерпентинизированные перидотиты — среднесерпентинизированные перидотиты — сильносерпентинизированные перидотиты — серпентиниты», а также в направлении от первого к последнему типу асбестоносности (по зональности тел).

6. Более высокими показателями прочности ( $C$ ,  $\varphi$ ) характеризуются поперечноволоконнистые хризотил-асбесты по сравнению с продольноволокнистыми. 

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Ф.* Методика и результаты испытаний на сдвиг по прожилкам хризотил-асбеста // Известия вузов. Горный журнал. 1987. № 6. С. 9–12.
2. Вопросы методики поисков, разведки и промышленной оценки месторождений хризотил-асбеста: методические рекомендации. Свердловск: Изд-во УТГУ Мингео РСФСР, 1976.
3. *Грязнов О.Н.* Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 253 с.
4. *Золоев К.К.* Месторождения хризотил-асбеста в гипербазитах складчатых поясов. М.: Недра, 1975.
5. *Золоев К.К. и др.* Баженовское месторождение хризотил-асбеста: монография / под ред. К.К. Золоева, Б.А. Попова. М.: Недра, 1985. 271 с.
6. *Золоев К.К., Ранопорт М.С., Попов Б.А. и др.* Геологическое развитие и металлогения Урала. М.: Недра, 1981. 256 с.
7. *Кейльман Г.А., Золоев К.К.* Изучение метаморфических комплексов. М.: Недра, 1989. 207 с.

**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**  
**GeoRisk**

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



# ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОТ СТЕПЕНИ ИХ НЕОДНОРОДНОСТИ

## DEPENDENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS ON THE DEGREE OF THEIR HETEROGENEITY

**ТЕР-МАРТИРОСЯН З.Г.**

*Заведующий кафедрой механики грунтов и геотехники (МГГ) Московского государственного строительного университета (МГСУ), д.т.н., профессор, г. Москва, mgroif@mail.ru*

**МИРНЫЙ А.Ю.**

*Старший преподаватель кафедры механики грунтов и геотехники (МГГ), научный сотрудник НОЦ «Геотехника» МГСУ, г. Москва, reg@oconnor.ru*

**TER-MARTIROSIAN Z.G.**

*The head of the department of soil mechanics and geotechnics of the Moscow State University of Civil Engineering, PhD (doctor of science in Technics), professor, Moscow, mgroif@mail.ru*

**MIRNIY A.YU.**

*Senior lecturer of the department of soil mechanics and geotechnics of the Moscow State University of Civil Engineering, scientific associate of the «Geotechnics» Research and Educational Center, Moscow, reg@oconnor.ru*

### **Ключевые слова:**

*гранулометрический состав; классификация грунтов; механические свойства оснований.*

### **Key words:**

*granulometric composition; soil classification; mechanical properties of ground bases.*

### **Аннотация**

**В статье приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований механических свойств неоднородных грунтов. Описываются механизмы формирования напряженно-деформированного состояния при различных комбинациях компонентов грунта. Предлагается методика прогнозирования механических свойств естественных и искусственных оснований исходя из данных об их гранулометрическом составе. Приводится классификация грунтов по степени их неоднородности. Рассматривается зависимость модуля деформации от гранулометрического состава и плотности.**

### **Введение**

Неоднородные по гранулометрическому составу и строению грунты естественного и искусственного происхождения часто используются в качестве оснований и материалов для создания сооружений (подушек, насыпей, дамб, плотин и пр.), однако в настоящее время не существует методов определения их механических свойств.

Известно, что механические свойства грунтовой среды существенно зависят от ее гранулометрического и минералогического состава. В неоднородных грунтах влияние гранулометрического состава существеннее, и его необходимо учитывать при определении их механических свойств. Очевидно, что в зависимости от степени неоднородности и процентного содержания фракций крупнее 2 мм могут формироваться разные структуры, которые определяют механические свойства неоднородного грунта. Взаимодействие между крупными и мелкими фракциями в таком грунте существенно зависит от его структуры.

Очевидно, что при воздействии внешней нагрузки взаимодействия между крупными и мелкими фракциями в представленных на рис. 1, а и 1, б структурах существенно различаются и, следовательно, они по-разному сопротивляются объемным изменениям и формоизменениям.

Количественная оценка свойств эквивалентной гомогенной среды является одной из важных задач теоретической и прикладной механики неоднородных грунтов. Она может быть осуществлена на основе экспериментальных и теоретических исследований, а также виртуальных экспериментов путем численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) неоднородного грунта в условиях компрессии, трехосного сжатия и др. Неоднородность грунтов вызывает неоднородность НДС в любом плоском сечении грунта, обусловленную концентрацией и декон-

### **Abstract**

**The article presents results of experimental and theoretical investigations of mechanical properties of heterogeneous soils. The mechanisms of stress-strain state formation at various combinations of soil components are described. A technique of prediction of mechanical properties of natural and artificial ground bases on the basis of their granulometric composition data is suggested. A classification of soils according to their heterogeneity degree is presented. Dependence of the deformation modulus on the granulometric composition and density is considered.**



центрацией напряжений вокруг твердых включений, пустот или дефектов структуры.

Первая попытка количественной оценки НДС двухкомпонентного грунта была сделана К. Терцаги в 1923 г. Она позволила ему разделить общее напряжение между скелетом и поровой водой без учета сжимаемости последней. Учет сжимаемости поровой воды и ползучести скелета при их взаимодействии для описания грунта привел к качественно новым результатам [8]. В работах С.С. Вялова и его сотрудников [1] было показано, что деформации глинистого грунта могут привести к неоднородному НДС и его развитию в пространстве и времени вплоть до разрушения. Учету неоднородности гранулометрического состава и строения дисперсного и скального грунта посвящены работы З.Г. Тер-Мартirosяна, С.Б. Ухова и др. [8, 9]. В работе Кристенсена Р. [10] приводится математическое описание НДС композитов, которое позволяет определить их эквивалентные характеристики.

Настоящая работа посвящена экспериментально-теоретическим исследованиям механических свойств неоднородных грунтов, на основе которых рекомендованы методы количественной оценки их эквивалентных характеристик с учетом известных характеристик их составных частей в целом. Кроме того, анализ выполненных исследований позволил авторам составить классификацию неоднородных грунтов, используя треугольник Ферре, и на этой основе составить номограмму для определения их модулей деформации в зависимости от гранулометрического состава и плотности.

**Экспериментальные исследования**

На рисунке 2 приводятся результаты испытаний неоднородных грунтов в условиях компрессионного и трехосного сжатия при различной степени их неоднородности в виде зависимостей « $\sigma - \epsilon$ », где  $\sigma$  — уплотняющая нагрузка, кПа;  $\epsilon$  — относительная деформация, д.ед.

Анализ смеси песчаных грунтов показал, что неоднородность их гранулометрического состава оказывает существенное влияние на деформационные и прочностные свойства. Обработка результатов более чем 90 испытаний образцов песчаного грунта в условиях компрессионного и трехосного сжатия методами математической статистики показала, что коэффициент неоднородности влияет на модуль деформации и угол внутреннего трения.

Модуль деформации увеличивается пропорционально процентному содержанию включений, что объясняется большей жесткостью включений и их армирующим действием. При этом наибольшая его величина наблюдается при 30% включений от общего объема, что объясняется более устойчивой структурой грунта, в которой мелкие частицы препятствуют перекомпоновке крупных включений.

Угол внутреннего трения снижается с ростом содержания включений, что объясняется концентрацией напряжений на контактах между включениями и более ранним переходом вмещающего грунта в предельное состояние. Однако из анализа экспериментальных данных видно, что при введении включений ярко проявляется пиковая и остаточная прочность. Это может быть связано с тем, что жесткие включения большого размера пре-

пятствуют образованию поверхностей скольжения и увеличивают пиковую прочность, однако после образования таких поверхностей скольжение идет уже по вмещающему грунту и остаточная прочность не меняется.

**Математическое моделирование НДС неоднородного грунта с помощью виртуального эксперимента**

Виртуальные эксперименты позволяют существенно упростить исследования механических свойств неоднородных грунтов с любыми коэффициентами неоднородности и соотношениями механических свойств составных частей вмещающего грунта и заполнителя (рис. 3).

Как и следовало ожидать, образцы (модели) с включениями (кривые 2, 3 на рис. 4) показали меньшую деформацию, чем образец сплошного вмещающего грунта (кривая 1 на рис. 4). Это обусловлено армирующим эффектом крупных фракций и их высокой жесткостью по отношению к сравнительно слабому вмещающему грунту. Кривые 4 и 5 на рисунке 4 соответствуют случаю, когда в однородном грунте имеются пустоты крупного размера, которые при определенной нагрузке «схлопываются», при этом деформации интенсивно возрастают при неизменной нагрузке. Отме-

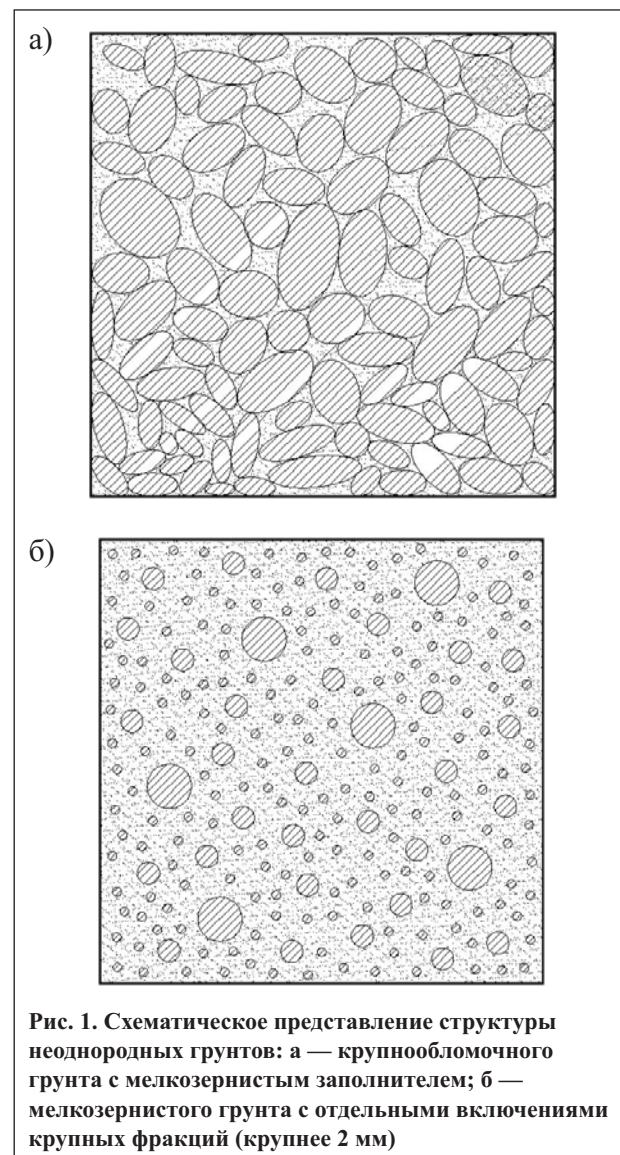
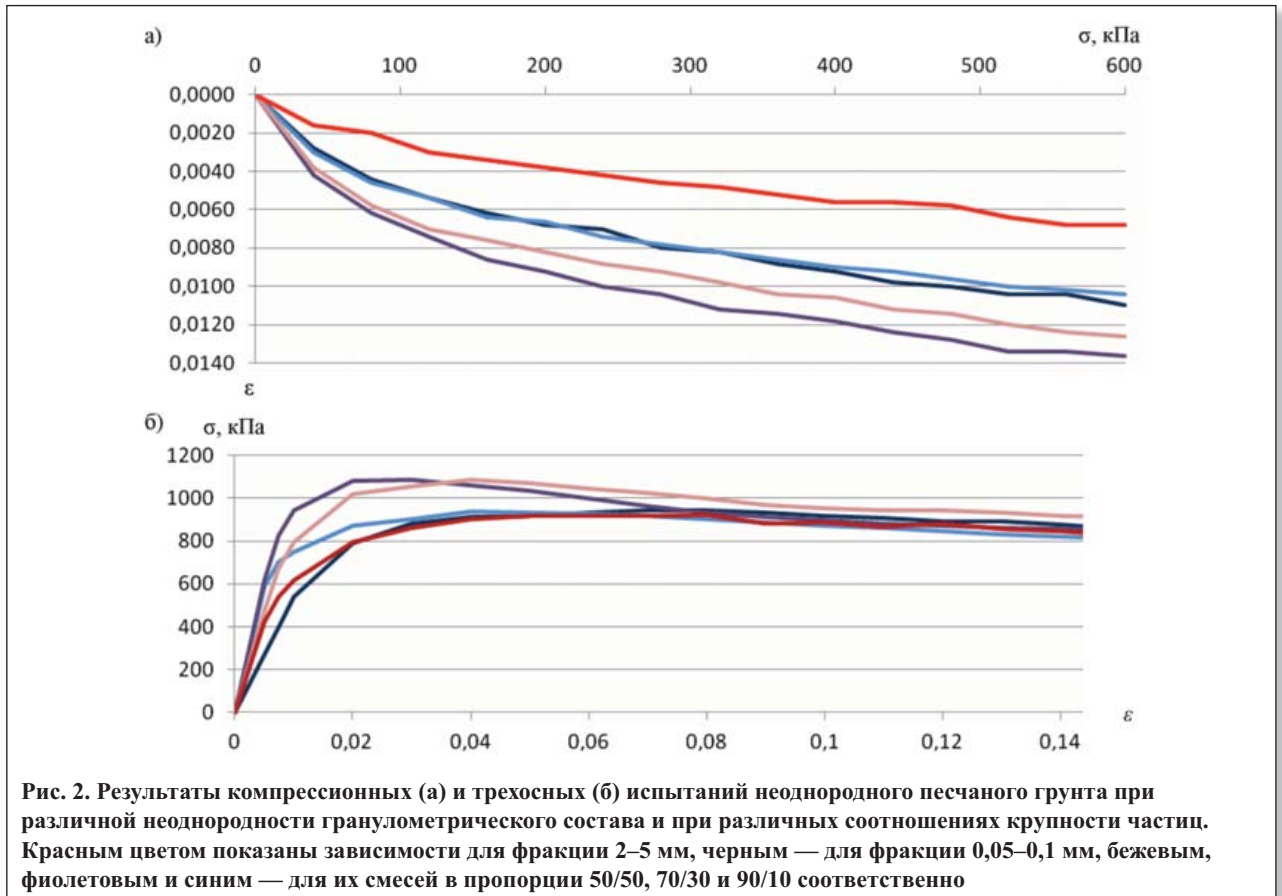


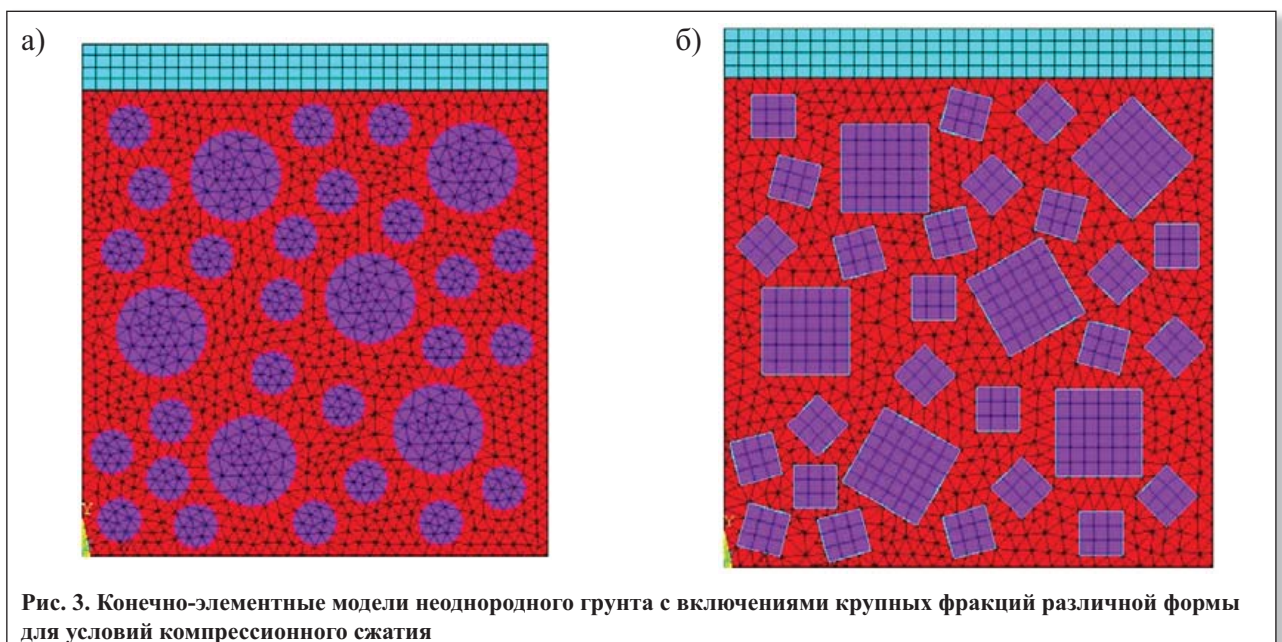
Рис. 1. Схематическое представление структуры неоднородных грунтов: а — крупнообломочного грунта с мелкозернистым заполнителем; б — мелкозернистого грунта с отдельными включениями крупных фракций (крупнее 2 мм)



тим, что в случае пор квадратной формы арочный эффект на начальном этапе нагружения проявляется слабее и интенсивность деформаций в предельном состоянии выше, чем в случае пор круглой формы.

Виртуальные испытания образцов неоднородного грунта (см. рис. 3) проводились в условиях простого сдвига (перекашивания до достижения угловой деформации  $\gamma = 0,12 \div 0,15$ ). Из результатов испытаний, представленных на рис. 5, следует, что сопротивление образца с круглыми включениями (кривая 2) больше, чем у однородного (кривая 1), но меньше, чем у образца с включениями квадратной формы (кривая 3).

Анализ виртуальных экспериментов в условиях компрессионного сжатия и простого сдвига показал, что напряженно-деформированное состояние неоднородного образца также является неоднородным, имеющим экстремальные значения напряжений вокруг крупных включений конечной жесткости и пустот различной формы. Кроме того, крупные включения угловатой формы влияют на деформируемость и сопротивление сдвигу больше, чем включения круглой формы. Жесткость крупных фракций также оказывает существенное влияние, которое зависит от соотношения жесткости крупных включений и вмещающего сравнительно однород-





ного грунта и может привести к армированию вмещающего грунта при  $E_1 < E_2$  и к расслаблению при  $E_1 > E_2$ , особенно при  $E_2 \rightarrow 0$  (где  $E_1, E_2$  — модули деформации вмещающего грунта и включений соответственно).

Численный метод анализа виртуальных экспериментов неоднородного образца грунта можно распространить также на случай штамповых испытаний. Выполненный виртуальный эксперимент со штампом в условиях плоской задачи показал, что контактные напряжения неоднородны и имеют многочисленные пики на контактах с крупными включениями, причем огибающая контактных напряжений по средним значениям имеет седлообразную форму, что соответствует решению для однородного грунта. Кроме того, изополя компонентов напряжений и деформаций в основании штампа для неоднородных грунтов качественно соответствуют изополям для однородных грунтов. Однако осадки штампов различаются пропорционально разнице модулей деформации однородного (вмещающего) и неоднородного грунта. Следовательно, для проектирования оснований и грунтовых сооружений из неоднородных грунтов можно использовать теорию линейно деформируемой среды. Поэтому определение эквивалентного модуля деформации и прочностных характеристик имеет важное практическое значение.

**Определение эквивалентных характеристик неоднородных грунтов аналитическим методом**

Количественная оценка эквивалентных характеристик неоднородных грунтов на основе теории линейно деформируемых сред возможна при определенных допущениях и предположениях и при определенных структурах.

Рассмотрим структуру неоднородного грунта типа представленной на рис. 1, а. Обозначим модули объемной и сдвиговой деформаций скелета из крупнообломочного грунта соответственно  $K_1$  и  $G_2$ , заполнителя —  $K_2$  и  $G_2$ , эквивалентного гомогенного грунта (в целом) —  $K$  и  $G$ . Среднее действующее на эквивалентный гомогенный грунт напряжение  $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$  (где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  — главные напряжения) представим как сумму средних значений, действующих на скелет ( $\bar{\sigma}_1$ ) и на заполнитель ( $\bar{\sigma}_2$ ), т.е.  $\sigma = \bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2$ . Относительные объемные деформации грунта в целом ( $\varepsilon$ ), скелета грунта ( $\varepsilon_1$ ) и заполнителя ( $\varepsilon_2$ ) связаны между собой известной зависимостью вида  $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \cdot n_1$ , где  $n_1$  — пористость скелета грунта. Учитывая, что объемные деформации каждого из составляющих элементов определяются зависимостью вида  $\varepsilon = \sigma/K$ , а также принимая во внимание исходные уравнения, получаем:

$$K = K_1 + K_2/n_1 \tag{1}$$

причем  $\bar{\sigma}_1 = \sigma K_1/K; \bar{\sigma}_2 = \sigma K_2/Kn_1$

Очевидно, что при  $K_2 \rightarrow 0$  будет выполняться равенство  $K = K_1$ , что соответствует случаю модуля деформации крупнообломочного грунта без заполнителя. Для оценки влияния заполнителя пор можно принять, например,  $K_1 = K_2, n_1 = 0,5$ . Тогда  $K = 3K_1$ , что существенно.

Для определения эквивалентного модуля сдвига воспользуемся условием равенства угловых деформаций  $\gamma = \gamma_1 \pm \gamma_2$ , а также условием  $\tau = \tau_1 \pm \tau_2$  (где  $\tau$  — эквивалентное касательное напряжение;  $\bar{\tau}_1$  — среднее касательное напря-

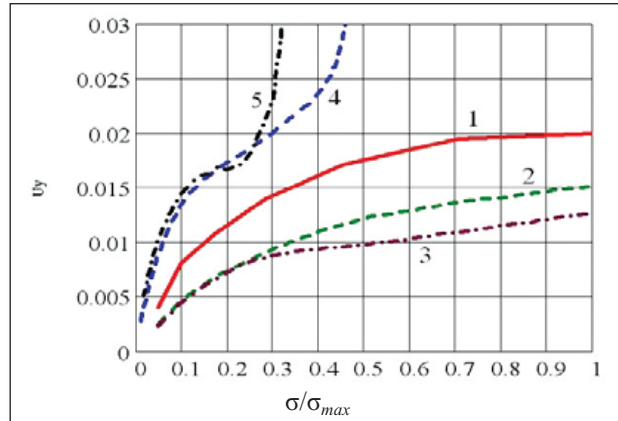


Рис. 4. Зависимости осадки  $U_y$  от относительной нагрузки  $\sigma/\sigma_{max}$  по результатам виртуальных компрессионных испытаний неоднородного грунта: 1 — без включений; 2, 3 — с включениями различной формы; 4, 5 — с порами различной формы

жение во вмещающем грунте;  $\bar{\tau}_2$  — среднее касательное напряжение во включениях). На основании этих равенств и известной зависимости  $\gamma = \tau/G$  можно показать, что:

$$G = G_1 + G_2 \tag{2}$$

причем  $\bar{\tau}_1 = \tau \frac{G_1}{G}; \bar{\tau}_2 = \tau \frac{G_2}{G}$ .

Очевидно, что при  $G_2 \rightarrow 0$  будут выполняться условия:  $G = G_1, \tau \rightarrow 0$ , что соответствует случаю заполнения пор водой.

Воспользовавшись известными выражениями вида  $E = G/2(1 + \nu)$  и  $E = K/(1 - 2\nu)$  (где  $\nu$  — коэффициент Пуассона), можно через  $K$  и  $G$  определить эквивалентные модули деформации неоднородного грунта.

Рассмотрим структуру неоднородного грунта типа представленной на рисунке 1, б. В этом случае вмещающим является мелкозернистый песок или глинистый грунт с характерными значениями  $K_1$  и  $G_1$ , занимающий объем  $(1 - m_2)$  (где  $m_2$  — относительный объем отдельных крупных включений в единице объема грунта). Объемная деформация грунта в целом будет равна сумме объемных деформаций его составных частей:  $\varepsilon = \varepsilon_1(1 - m_2) + \varepsilon_2 \cdot m_2$ . Полагая, что  $\sigma = \bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2 = \alpha \sigma$  (где  $\alpha$  — коэффициент концентрации/деконцентрации среднего напряжения вокруг включений) и что, как и прежде,  $\varepsilon = \sigma/K$ , получаем:

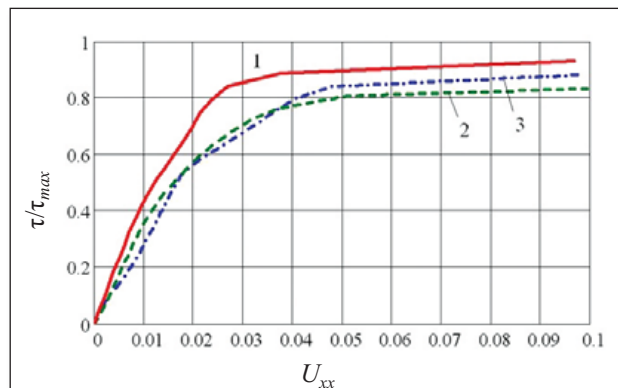


Рис. 5. Зависимости горизонтальных перемещений  $U_{xx}$  от относительной касательной нагрузки  $\tau/\tau_{max}$  при перекашивании в неоднородном грунте: 1 — без включений; 2, 3 — с включениями различной формы

$$K = \frac{K_1 \cdot K_2}{\alpha K_1 \cdot m_2 + K_1 \cdot m_2} \quad (3)$$

причем при  $K_2 \rightarrow \infty K \rightarrow K_1 / (1 - m_2)$ .

причем при  $K_2 \rightarrow \infty$  будет выполняться условие  $K \rightarrow K_1 / (1 - m_2)$ . В случае  $m_2 = 0$  будет выполняться равенство  $K = K_1$ .

Рассмотрим количественную оценку концентрации напряжений вокруг крупных включений или пустот. Известно, что твердые включения, пустоты и локальные дефекты в структуре однородного материала вызывают концентрацию напряжений в однородном поле напряжений, созданном внешним воздействием. Решения таких задач наиболее часто встречаются при количественной оценке НДС сложных конструкций, деталей машин и оборудования на основе теории упругости и упругопластичности [5]. В качестве предела прочности в таких задачах принимается либо условие постоянства максимальных касательных напряжений Треска — Сен-Венана, либо условие постоянства интенсивности касательных напряжений Мизеса, которые не учитывают внутреннее кулоновское трение [5]. В приведенных ниже задачах в качестве расчетного будем рассматривать предельное состояние по теории Кулона — Мора, которое в условиях трехосного осесимметричного напряженного состояния записывается в виде:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{\sigma_\theta + \sigma_r + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \quad (4)$$

где  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  — максимальное и минимальное напряжения соответственно;  $\varphi$  — угол внутреннего трения;  $c$  — удельное сцепление.

Это условие позволяет оценить начальную критическую нагрузку на контактной поверхности твердых включений или на контуре пустот круглой формы при известных решениях таких задач в упругой постановке аналогично тому, как это использовалось Пузыревским при определении начальной критической нагрузки. Рассмотрим некоторые задачи по определению начальной критической нагрузки, приложенной к однородному телу на основе имеющихся решений соответствующей краевой задачи теории упругости.

Всестороннее осесимметричное сжатие круглой пластины с круглым отверстием в центре диаметром

$2a$  вызывает тангенциальное напряжение сжатия на контуре отверстия, определяемое выражением [5]:

$$\sigma_\theta = 2p \quad (5)$$

где  $p$  — нагрузка, действующая на внешней границе пластины.

Учитывая, что на контуре отверстия радиальное напряжение  $\sigma_r = 0$ , а продольное напряжение  $\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)$ , где  $\nu$  — коэффициент Пуассона,  $\sigma_\theta$  — тангенциальное напряжение, можем определить критическое значение нагрузки  $p^*$ , при котором на контуре отверстия начинает образовываться кольцевая зона пластического течения. Подставляя выражение (5) в формулу (4) и принимая  $\sigma_r = 0$ , получаем:

$$p_{ц}^* = c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (6)$$

Всестороннее сжатие пространства вокруг полости в форме шара диаметром  $2a$  вызывает тангенциальное напряжение сжатия на поверхности шаровой полости, определяемое выражением:

$$\sigma_\theta = 1,5p \quad (7)$$

При этом очевидно, что  $\sigma_r = 0$ .

В этом случае критическое значение нагрузки  $p^*$  определяется с помощью следующего выражения, полученного на основе формулы (4):

$$p_{ш}^* = \frac{4c}{3} \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (8)$$

Сравнивая формулы (6) и (8), следует отметить, что для разрушения стенок шарообразной полости требуется в  $4/3$  раза большее напряжение, чем для разрушения стенок отверстия круглой формы (плоская задача), то есть:

$$p_{ш}^* = 1,33p_{ц}^* \quad (9)$$

Двухосное сжатие квадратной пластины с круглым включением в центре вызывает концентрацию тангенциального напряжения на контуре отверстия, определяемую выражением:

$$\sigma_\theta = 2p \quad (10)$$

В этом случае критическое значение нагрузки определяется по формуле типа (6).

Всестороннее сжатие круглого диска с жестким цилиндрическим включением в центре вызывает концентрацию радиальных сжимающих напряжений на контактной поверхности  $\sigma_r = \sigma \cdot \alpha$  (где  $\alpha$  — коэффициент концентрации, определяемый с учетом взаимодействия двух цилиндров на основе задачи Ляме). В связи с громоздкостью этого решения приводить его здесь не будем. Целесообразнее такие контактные задачи решать численным методом конечных элементов. Анализ таких решений с помощью программного комплекса ANSYS показал, что при наличии твердых включений круглой формы в условиях всестороннего сжатия, чистого сдвига, несимметричного двухосного сжатия возникают концентрации радиальных и касательных на-

Таблица 1

**Результаты численного решения контактных задач методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS (интенсивность напряжений  $\sigma'$ , кПа)**

| Вид задачи                         | Одноосное сжатие при $p_y = 1$ ; $p_x = 0^{**}$ | Всестороннее сжатие при $p_y = p_x = 1$ | Чистый сдвиг при $p_y = 1$ ; $p_x = -1$ |
|------------------------------------|---|---|---|
| Круглое отверстие                  | 3,00  | 2,04                                    | 3,98                                    |
| Круглое включение $\mu = 0,5^*$    | 2,02  | 1,43                                    | 4,55                                    |
| Круглое включение, $\mu = 0,7$     | 1,94  | 1,42                                    | 4,76                                    |
| Круглое включение $\mu = 1,0$      | 1,88  | 1,42                                    | 4,45                                    |
| Круглое включение, полное слипание | 2,51  | 2,66                                    | 2,85                                    |

\*  $\mu$  — коэффициент трения;  $p_x, p_y$  — нагрузка на внешних границах пластины по осям  $x$  и  $y$  соответственно.



пряжений на контактной зоне, которые зависят от граничного условия (полного прилипания или трения). Результаты расчетов НДС для этих случаев приводятся в табл. 1. Анализ результатов численного моделирования НДС и аналитического решения для осесимметричных задач показал их полное совпадение.

**Классификация неоднородных грунтов и зависимость их механических свойств от гранулометрического состава**

Свойства грунта как гетерогенной среды определяются взаимодействием ее составляющих, а именно твердой, жидкой и газообразной фаз. От их соотношения зависят свойства всего массива, а от вида упаковки — поведение грунта под нагрузкой. Многофазность грунта и зависимость его свойств от соотношения фаз делают задачу определения свойств многофакторной и сложной для рассмотрения. В то же время последовательное рассмотрение различных комбинаций сред от простых к сложным позволяет определить факторы, влияющие на сжимаемость и прочность массива.

В действующей нормативной документации предусмотрено определение предварительных значений прочностных и деформационных характеристик грунта на основании классификационных показателей, таких как коэффициент пористости, число пластичности, число текучести, степень водонасыщения, а для песчаных грунтов — еще и крупности частиц. При этом влияние частиц различного размера и их процентного содержания не учитывается.

Для анализа влияния размера частиц и их количественного содержания на механические свойства неоднородных грунтов была проведена серия лабораторных экспериментов, в ходе которых выполнялись испытания в одомере и стабиломере искусственных смесей частиц различного размера с известным процентным содержанием. В результате была получена зависимость угла внутреннего трения, сцепления и модулей деформации от неоднородности состава образца.

На основании анализа результатов выполненных исследований можно сделать вывод о наличии связи между гранулометрическим составом грунта и его механическими характеристиками. Эта связь объясняется различными видами упаковки частиц и принципиально разными НДС в элементарных объемах грунта.

На основе полученных зависимостей была разработана классификация неоднородных грунтов в зависимости от процентного содержания частиц различной крупности (рис. 6).

Для наглядного отображения предлагаемой классификации грунтов была разработана графическая интерпретация, основанная на треугольнике Ферре. Треугольник Ферре позволяет нанести на схему точку, имеющую три координаты, сумма которых составляет 100%. В предлагаемой классификации по координатам откладывается процентное содержание крупных (>2,0 мм), мелких (0,1–2,0 мм) частиц и заполнителя (пылеватых и глинистых частиц).

На рисунке 6 отдельные категории предложенной классификации представлены в виде областей на треугольнике Ферре. Границы между областями опреде-

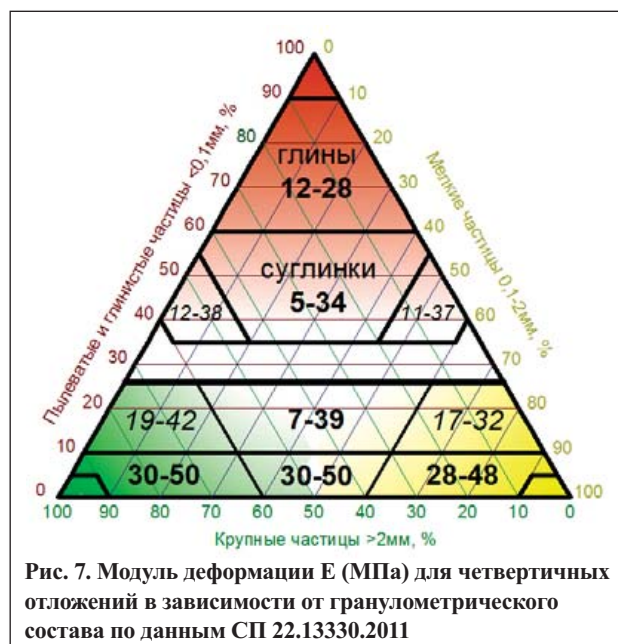


**Рис. 6. Классификация грунтов с неоднородным гранулометрическим составом в зависимости от процентного содержания частиц различного размера**

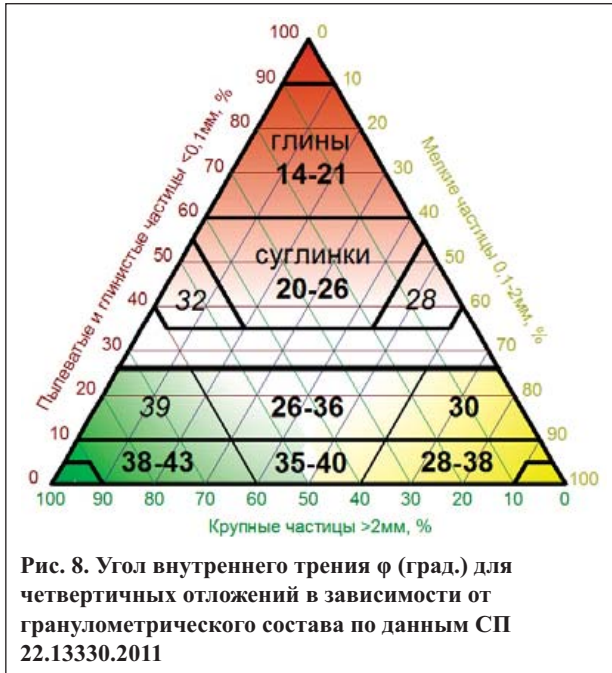
лены по результатам лабораторных испытаний и представленных выше зависимостей механического поведения образцов от гранулометрического состава. Нижняя граница зоны фазового перехода отсекает математический предел максимальной плотности упаковки шарообразных частиц, при котором объем пор между ними составляет 26%. Это значение установлено по результатам аналитического решения задачи о максимальной плотности упаковки шарообразных частиц.

Предложенная классификация позволяет на основании данных о гранулометрическом составе грунта сделать предварительный вывод об особенностях поведения элементарного объема грунта и формирующемся в нем НДС. Эта информация позволяет смоделировать поведение такого массива и получить его характеристики методом конечных элементов.

Очевидно, что в настоящее время не применяется подобной классификации, а все образцы условно помещаются в вершины треугольника. При этом оценка их свойств производится ошибочно.

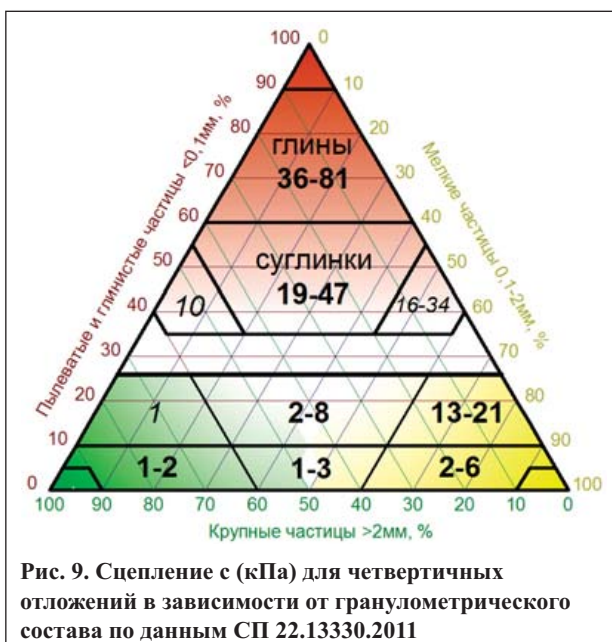


**Рис. 7. Модуль деформации E (МПа) для четвертичных отложений в зависимости от гранулометрического состава по данным СП 22.13330.2011**



В качестве дальнейшего развития предложенной классификации на диаграмму были нанесены рекомендуемые значения механических характеристик — модуля деформации, удельного сцепления и угла внутреннего трения для четвертичных отложений в соответствии с действующим нормативным документом [7]. Эти величины были приняты для максимальной плотности упаковки (в случае более рыхлой упаковки все эти значения пропорционально снижаются). На рисунке 7 представлена диаграмма распределения модуля деформации в зависимости от гранулометрического состава частиц. Жирным шрифтом выделены значения из нормативной документации, курсивом — величины, полученные методом интерполяции. Аналогичные диаграммы могут быть получены и для сцепления и угла внутреннего трения (рис. 8, 9).

Из рисунка 7 видно, что по мере увеличения среднего размера частиц модуль деформации равномерно возрастает. Однако вокруг зоны фазового перехода на-



блюдается значительное снижение модуля, которое можно объяснить нестабильным поведением скелета грунта и возможным лавинообразным разрушением цепочек частиц вследствие местной потери устойчивости в элементарном объеме.

Угол внутреннего трения снижается вместе с уменьшением размера частиц (см. рис. 8), что вполне закономерно, т.к. мелкие и пылеватые частицы, как правило, имеют менее шероховатую поверхность — следовательно, внутреннее трение в элементарном объеме для них меньше, чем для крупных частиц.

Величина сцепления, напротив, нелинейно возрастает с увеличением содержания пылеватых и мелких частиц (см. рис. 9), что объясняется увеличением удельного числа контактов между частицами и образованием водно-коллоидных связей.

Введение предлагаемой классификации позволяет более точно прогнозировать свойства грунтового основания с учетом неравномерности его гранулометрического состава. Кроме того, с помощью приведенных диаграмм предварительные значения механических характеристик грунта могут быть определены только по результатам определения гранулометрического состава, что позволяет быстрее приступить к предварительному проектированию. При этом определение гранулометрического состава обычно проводится с высокой точностью, в отличие от прочих классификационных показателей, таких как, например, число пластичности.

Механические свойства неоднородных грунтов в целом существенно зависят от степени неоднородности. Она влияет на формирование неравномерного НДС, переход материала в предельное состояние в отдельных зонах, а также на механические характеристики таких грунтов. Учет неоднородности позволяет повысить достоверность расчетов оснований и сооружений из неоднородных грунтов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 2010.
3. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Госстрой СССР, 1979.
4. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Госстрой СССР, 1984.
5. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.
6. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982. 336 с.
7. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2010.
8. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 309 с.
9. Ухов С.Б., Конвиз А.В., Семенов В.В. Механические свойства крупнообломочных песков с заполнителем // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1993. № 1. С. 2–7.
10. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов: учебное пособие. М.: Недра. 1975. 304 с.

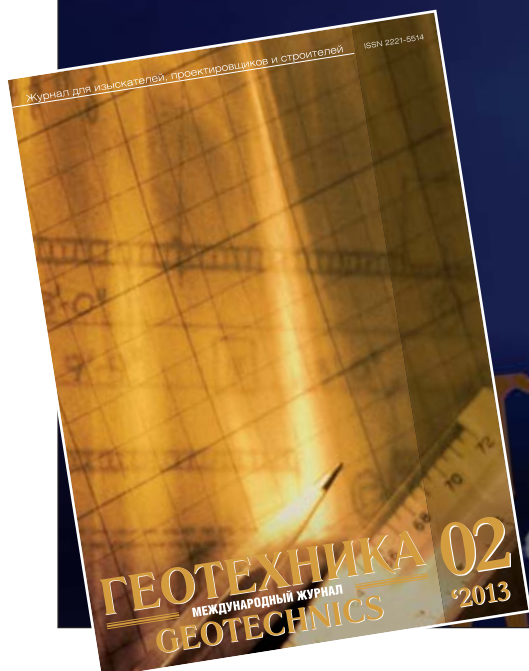
# ГЕОТЕХНИКА

Международный журнал  
для изыскателей,  
проектировщиков и строителей

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

Периодичность в 2013 году:  
**6 номеров**

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



# ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА В РЕЗУЛЬТАТЕ МОДИФИКАЦИИ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ

## CHANGE OF SANDY SOIL PROPERTIES AS A RESULT OF MODIFICATION BY A FINELY DISPERSED ADDITIVE

### МАЛАХОВА Е.В.

Магистрант Института строительства и архитектуры (ИСИА) Северного арктического федерального университета им. М.В. Ломоносова (САФУ), г. Архангельск, malakhova.ev@yandex.ru

### АЙЗЕНШТАДТ А.М.

Профессор кафедры композиционных материалов и строительной экологии ИСИА САФУ, д.х.н., г. Архангельск, aizenstadt@agtu.ru

### ТУТЫГИН А.С.

Заведующий лабораторией кафедры композиционных материалов и строительной экологии ИСИА САФУ им. Ломоносова, г. Архангельск, tutygin@narfu.ru

### КОРШУНОВ А.А.

Доцент кафедры инженерной геологии оснований и фундаментов ИСИА САФУ им. Ломоносова, к.т.н., г. Архангельск, korshunov.astu@gmail.com

### MALAKHOVA E.V.

Candidate for a master's degree of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, malakhova.ev@yandex.ru

### AYZENSHTADT A.M.

Professor of the composite materials and environment engineering department of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, PhD (doctor of science in Chemistry), Arkhangelsk, aizenstadt@agtu.ru

### TUTYGIN A.S.

Head of the Laboratory of the Composite Materials and Environment Engineering Department of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, tutygin@narfu.ru

### KORSHUNOV A.A.

Associate professor of the engineering geology and foundation engineering department of the Construction and Architecture Institute of the Lomonosov Northern Arctic Federal University, PhD (candidate of science in Technics), Arkhangelsk, korshunov.astu@gmail.com

### Ключевые слова:

песчаный грунт; сапонит-содержащий материал; высокодисперсная добавка; прочностные характеристики.

### Key words:

sandy soil; saponite-containing material; finely dispersed additive; strength characteristics.

### Аннотация

**В статье представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию высокодисперсной добавки, состоящей из песка и сапонит-содержащего материала, на физико-механические свойства мелкопесчаного грунта.**

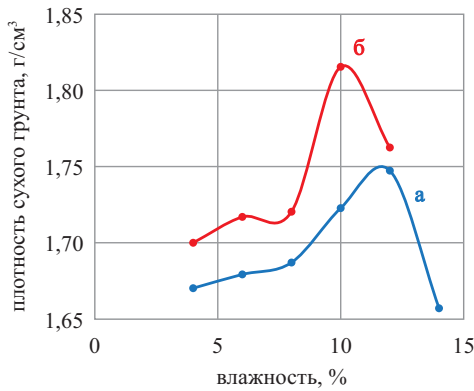
### Введение

Архангельская область богата месторождениями кварцевого песка. В основном это песок мелкий, который обладает достаточно низкими физико-механическими характеристиками, поэтому его применение в промышленном, гражданском и дорожном строительстве ограничено. В целях масштабного использования мелкого песка для строительных работ, в частности в основаниях дорожных насыпей и при обратной засыпке пазух котлованов, возникает проблема его укрепления, которая является актуальной на сегодняшний день.

Одним из возможных путей решения этой задачи является укрепление песчаных грунтов методами, основанными на нанотехнологическом подходе, в частности введение в грунты специальных добавок в высокодисперсном состоянии. Например, в работе [6] был определен оптимальный состав композиционной смеси (мелкого песка и сапонит-содержащего материала), которая может служить добавкой для укрепления песчаных грунтов. Авторами этих исследований было установлено, что при введении 5% (по массе) добавки, состоящей из смеси высокодисперсного сапонит-содержащего материала (4%) и мелкого песка (96%), удельное сцепление песчаного материала увеличивается с 7,4 до 19,1 кПа. Для приготовления этой смеси использовался мелкий песок, механически диспергированный до среднего размера частиц  $102 \pm 34$  нм, и са-

### Abstract

**The article presents experimental research results on influence of a finely dispersed additive consisting of sand and saponite-containing material on the physical-mechanical properties of fine sandy soil.**



**Рис. 1. Кривые стандартного уплотнения грунта: а — без высокодисперсной добавки; б — с высокодисперсной добавкой в количестве 5% по массе**

понит-содержащий материал, подвергшийся такой же обработке, со средним размером частиц  $361 \pm 96$  нм.

Целью исследований, представленных в данной работе, является изучение влияния высокодисперсной добавки на физико-механические свойства песчаного грунта (сопротивление сдвигу, способность к уплотнению, водопроницаемость, угол естественного откоса, набухание, плотность, плотность частиц) при оптимальной влажности.

**Методика исследований**

В качестве исследуемого материала был выбран мелкий песок с размером частиц 0,10–0,25 мм с месторождения «Краснофлотский-Запад». Для получения высокодисперсной добавки использовался сапонит-содержащий материал, выделенный из пульпы хвостохранилища промышленного обогащения руд месторождения алмазов, и мелкий полиминеральный песок с месторождения «Краснофлотский-Запад», предварительно отмытый от глинистых включений. Высокодисперсные компоненты получались методом диспергирования на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 (режимные параметры процесса размола приведены в статье [6]). Средний размер частиц мелкого песка составил  $102 \pm 34$  нм, сапонит-содержащего материала —  $361 \pm 96$  нм. Введение высокодисперсной добавки (5% по массе) в песчаный грунт происходило в два этапа. Сначала измельченный песок тщательно перемешивали с грунтом, а затем в полученную смесь добавляли сапонит-содержащий материал и также тщательно перемешивали.

Физические, механические и водные свойства грунта определялись в соответствии с методиками, принятыми для грунтовых материалов [1–5, 7]. Определение прочностных характеристик грунта проводилось с помощью автоматизированной испытательной системы SherarTrac-II.

**Результаты исследований и их обсуждение**

На первоначальной стадии была определена максимальная плотность сухого грунта с высокодисперсной добавкой ( $\rho_d^{max}$ ) при оптимальной влажности ( $W_{opt}$ ). На рисунке 1 представлены полученные кривые стандартного уплотнения грунтов, которые показывают что для песчаного грунта  $\rho_d^{max} = 1,75$  г/см<sup>3</sup>,  $W_{opt} = 12\%$ , а для

Таблица

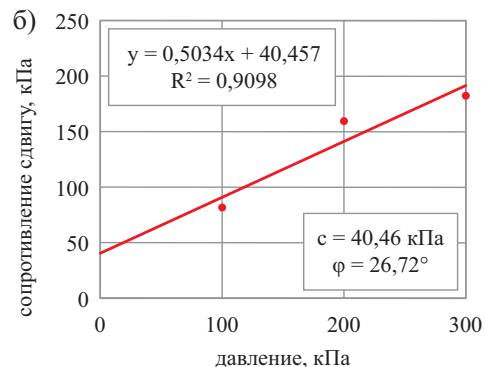
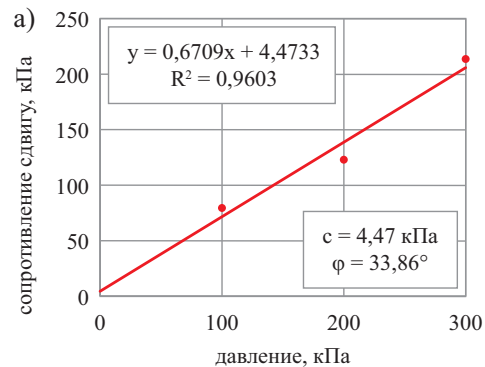
**Физико-механические свойства исходного и модифицированного высокодисперсной добавкой песчаного грунта**

| Характеристика*                    | Исходный песок | Модифицир. песок |
|------------------------------------|----------------|------------------|
| $\rho$ , г/см <sup>3</sup>         | 1,96           | 2,00             |
| $\rho_{ss}$ , г/см <sup>3</sup>    | 2,68           | 2,67             |
| $k_f$ , м/сут                      | 1,79           | 0,53             |
| $\Delta V$ , %                     | 0,00           | 0,07             |
| $\alpha_c$ , град.                 | 29             | 26               |
| $\alpha_b$ , град.                 | 35             | 25               |
| $e$                                | 0,53           | 0,47             |
| $W_{sat}$ , %                      | 0,20           | 0,18             |
| $S_r$                              | 0,60           | 0,57             |
| $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>       | 19,2           | 19,6             |
| $\gamma_{sb}$ , кН/м <sup>3</sup>  | 19,8           | 19,4             |
| $\gamma_{sat}$ , кН/м <sup>3</sup> | 20,6           | 21,0             |

\* Расшифровка обозначений приведена в тексте.

грунта, модифицированного высокодисперсной добавкой,  $\rho_d^{max} = 1,82$  г/см<sup>3</sup>,  $W_{opt} = 10\%$ .

Для исследуемых образцов исходного и модифицированного высокодисперсной добавкой песчаного грунта были определены: плотность ( $\rho$ ), плотность частиц



**Рис. 2. Предельное сопротивление сдвигу образца песка с размером частиц 0,10–0,25 мм: а — без добавки модификатора; б — с добавкой модификатора в количестве 5% по массе (с — удельное сцепление, φ — угол внутреннего трения)**



( $\rho_s$ ), коэффициент фильтрации ( $k_f$ ), величина набухания ( $\Delta V$ ), угол естественного откоса в сухом и водонасыщенном состоянии ( $\alpha_e$ ,  $\alpha_n$  соответственно), коэффициент пористости ( $e$ ), влажность при полном насыщении ( $W_{sat}$ ), степень влажности ( $S_r$ ), удельный вес ( $\gamma$ ), удельный вес с учетом взвешивающего действия воды ( $\gamma_{sb}$ ), удельный вес при полном водонасыщении ( $\gamma_{sat}$ ). Полученные физико-механические характеристики представлены в таблице, прочностные характеристики при оптимальной влажности — на рис. 2.

Эксперименты, результаты которых представлены на рис. 2, показывают, что после введения в песчаный грунт высокодисперсной добавки его удельное сцепление увеличивается в 9 раз. Кроме того, значительные различия наблюдаются в значениях коэффициента фильтрации: его величина у песка с высокодисперсной

добавкой в 3,8 раза ниже, чем при отсутствии добавки. Величина угла естественного откоса песчаного грунта в сухом состоянии при отсутствии добавки на 20% ниже, чем при ее наличии. Значения остальных характеристик для исходной и модифицированной проб грунта практически не различаются между собой.

### Выводы

Модификация песчаного грунта высокодисперсной добавкой, состоящей из смеси песка и сапонит-содержащего материала, в количестве 5% по массе значительно изменяет следующие его физико-механические свойства: удельное сцепление, коэффициент фильтрации, максимальную плотность сухого грунта при оптимальной влажности и угол естественного откоса. ❄

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Стандартинформ, 2010. 78 с.
2. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2008. 17 с.
3. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод определения максимальной плотности. М.: Госстрой России, 2003.
4. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. М.: Стандартинформ, 2008. 17 с.
5. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2005. 18 с.
6. Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Фролова М.А., Боброва М.П. Проектирование состава строительных композитов с учетом термодинамической совместимости высокодисперсных систем горных пород // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 74–76.
7. Чановский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М.: Недра, 1975. 304 с.



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.

Журналы представлены во 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.



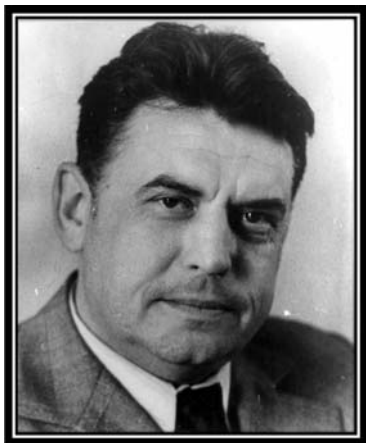
**Стоимость годовой электронной подписки**  
(два логина для доступа с двух устройств одновременно):

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](mailto:pr@geomark.ru)

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

# ПАМЯТИ СЕРГЕЯ ДМИТРИЕВИЧА ВОРОНКЕВИЧА



9 сентября 2013 года после продолжительной болезни на 82 году жизни скончался профессор Московского государственного университета, доктор геолого-минералогических наук, известный ученый в области искусственного преобразования горных пород в инженерно-геологических целях, рационального недропользования и охраны геологической среды, внесшим значительный вклад в теорию и практику искусственного укрепления грунтов для промышленного и гидротехнического строительства.

С.Д. Воронкевич в 1958 году защитил кандидатскую, а в 1976 году докторскую диссертацию. В 1978 году ему присвоено звание профессора, а в 1992 году он избран членом-корреспондентом РАН. С 1958 года по 1967 год С.Д. Воронкевич работал доцентом на кафедре грунтоведения и инженерной геологии. С 1967 года в течение 40 лет он являлся заведующим лабораторией «Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов» и проявил себя прекрасным научным руководителем и организатором коллектива.

С.Д. Воронкевич был основателем геолого-геохимического направления в технической мелиорации грунтов. Он выделил новый раздел в инженерной геологии — инженерная геохимия, сформулировал представления о техногенно-геохимических системах, что позволило определить контуры и структуру инженерной геохимии в качестве самостоятельной дисциплины. Им обоснована возможность использования принципов и методов равновесной термодинамики для анализа геохимических систем в глинистых и лессовых грунтах, показаны пути применения физико-химического моделирования для прогноза эволюции таких систем. Он разработал основы мелиоративного грунтоведения как системы взглядов и представлений, направленных на создание научной базы управления инженерным поведением грунтовых толщ и массивов. На основе использования современных методов термодинамики им сформулированы представления об искусственном литогенезе как комплексе физических, химических и технологических процессов, сопровождающих и определяющих формирование и эволюцию искусственно преобразованных грунтов. Им разработаны и внедрены на различных строительных объектах методы улучшения физико-механических свойств грунтов в дорожно-аэродромном, гидротехническом строительстве и фундаментостроении, а также в целях профилактики и ликвидации негативных инженерно-геологических процессов.

Его научные разработки внедрены на многих объектах: Ингури ГЭС, Камской ГЭС, Рогунской ГЭС; на объектах по ликвидации просадочности и повышению несущей способности лессовых грунтов основания строящихся и существующих сооружений в различных регионах России (Северный Кавказ, Камская область, Башкирия) и ближнего зарубежья — Казахстан, Таджикистан, Белорусская республика, Украина. Большое внимание С.Д. Воронкевич уделял вопросам утилизации промышленных отходов. Под его руководством проводились исследования по использованию промышленных отходов в качестве самостоятельного или комплексного вяжущего для искусственного укрепле-

ния грунтов и проведены работы по оценке инженерно-геологических условий территории нечерноземной зоны РСФСР в целях комплексного укрепления грунтов отходами энергетики и охране окружающей среды.

Широта научных интересов С.Д. Воронкевича проявилась и в разработках по вопросам музеефикации и реставрации археологических памятников. Разработаны и внедрены новые инъекционные растворы в известных музеях-заповедниках Танаис и Херсонес, проведены большие работы по восстановлению музея «Палаты бояр Романовых». На протяжении многих лет большое внимание им уделялось вопросам защиты геологической среды от повреждения и загрязнения. При разработке новых составов инъекционных растворов непременным условием являлось использование нетоксичных веществ, возможность перевода соединений в нерастворимое состояние, предотвращение их миграции в окружающую среду и проведение постоянного контроля по возможному выщелачиванию некоторых компонентов из укрепленных грунтов в окружающую среду. На основании многочисленных разработок С.Д. Воронкевичем подчеркнуты экологические функции физико-химических методов технической мелиорации. За разработку новых составов инъекционных растворов он награжден бронзовой медалью ВДНХ.

Наряду с научной деятельностью С.Д. Воронкевич активно участвовал в педагогической работе. Им созданы и в течение ряда лет читались курсы «Техническая мелиорация грунтов» и «Техногенная геохимия». Им опубликовано более 200 научных работ, среди которых 6 монографий. Он был редактором и непосредственно участником учебного пособия «Техническая мелиорация пород». В 2005 году С.Д. Воронкевичем написан учебник «Основы технической мелиорации грунтов», а в 2011 году — учебное пособие «Инженерная геохимия с основами геохимии техногенеза». Он обладал определенным талантом в написании своих трудов — четко, ясно, понятно. Его разработки защищены 13 авторскими свидетельствами. Им подготовлен 21 кандидат наук, среди его учеников имеются 2 доктора наук.

С.Д. Воронкевич активно работал по многим ученым и научных советах. В течение ряда лет он был председателем Спецсовета по защитах кандидатских диссертаций по инженерной геологии и мерзлотоведению; являлся председателем проблемной комиссии по закреплению и уплотнению грунтов, Научного Совета по инженерной геологии и гидрогеологии АН СССР, членом комиссии Мосгорисполкома и АН СССР по проблемам «Рационального использования и охраны геологической среды на территории г. Москвы и лесопаркового пояса».

За заслуги в области высшего образования С.Д. Воронкевич награжден нагрудным знаком «За отличные успехи в работе», медалью «В память 850-летия Москвы», медалью «За заслуги перед отечеством» 2-ой степени.

С.Д. Воронкевич всегда отличался своей эрудицией, глубокими знаниями в области химии, термодинамики, коллоидной и физической химии, грунтоведения и инженерной геологии. Он был высококвалифицированным специалистом, своими знаниями оказывал большую помощь в проведении исследований и обсуждении результатов разработок не только аспирантам и сотрудникам кафедры, но и представителям других подразделений и различных учреждений. К нему приезжали на консультации из других вузов и городов. Он отличался отзывчивостью и вниманием к людям.

Светлая память о Сергее Дмитриевиче Воронкевиче навсегда останется в сердцах всех его многочисленных учеников, сотрудников и всех, тех, кто с ним работал и общался.

---

# **КОНФЕРЕНЦИИ ЖУРНАЛА «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ» В 2014 ГОДУ**

---

**27–28 ФЕВРАЛЯ**

**Первая международная практическая конференция  
«Инженерные изыскания на объектах нефтегазового комплекса»**

**3–4 АПРЕЛЯ**

**Вторая международная практическая конференция  
«Современные методы полевых и лабораторных  
исследований грунтов»**

**6 ИЮНЯ**

**Первая практическая конференция  
«Особенности выполнения инженерных изысканий  
на линейных объектах»**

**25–26 СЕНТЯБРЯ**

**Вторая международная практическая конференция  
«Геотехнический мониторинг и мониторинг  
развития опасных геологических процессов»**

**4–5 ДЕКАБРЯ**

**Десятая научно-практическая конференция  
с иностранным участием  
«Перспективы развития инженерных изысканий  
в строительстве в Российской Федерации»**



+7 (495) 366-23-76, +7 (916) 106-10-05

**E-mail:** [conf@geomark.ru](mailto:conf@geomark.ru)

[www.geomark.ru](http://www.geomark.ru)

# ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

**Принимаются оригинальные статьи по широкой тематике и основным теоретическим разделам инженерной геологии: грунтоведению, инженерной геодинамике, региональной инженерной геологии, а также статьи по механике грунтов, гидрогеологии и геокриологии, мониторингу геологических и литотехнических систем, технической мелиорации грунтов, методике и методам инженерно-геологических исследований, истории и методологии инженерной геологии.**

- Статьи принимаются в печатном или электронном виде (по электронной почте) объемом до 1 авторского листа (40 тыс. печатных знаков с пробелами или 10–12 страниц текста, набранного на компьютере и напечатанного шрифтом 12-го кегля с одиночным интервалом).
- Статьи сопровождаются аннотациями (до 100–150 слов) на русском и английском языках, а также списком ключевых слов (5–10 слов) также на русском и английском языках.
- Название статьи, фамилия и инициалы автора даются на русском и английском языках.
- Фамилия автора сопровождается должностью, местом его работы и электронным адресом.
- Структура статьи должна по возможности включать введение (цель, задачи работы), методику (методы) исследования, характеристику объекта исследования, результаты и выводы (заключение).
- Статья сопровождается списком цитируемой литературы, оформленным в соответствии с ГОСТ 7.1-2003, составленным по алфавиту (сначала русский, затем иностранный).
- Ссылки на литературу в статье даются по номерам алфавитного списка в квадратных скобках, например, [2], [4–6] и т.п.
- Рисунки (цветные или черно-белые фотографии, штриховые рисунки, диаграммы, графики и т.п.) принимаются в электронном виде в формате jpeg, tiff или eps с разрешением не менее 300 пикселей на дюйм (или 300 dpi). Цветные карты принимаются с разрешением не менее 600 dpi.
- Рисунки сопровождаются подрисуночными подписями и нумерацией.
- Размерность физических величин и параметров дается в системе СИ.
- Таблицы сопровождаются названиями и нумерацией.
- Статьи проходят обязательное внутреннее и внешнее рецензирование, техническую редакцию, после чего автору высылается верстка для окончательной проверки.
- После публикации статьи в журнале автору высылается по e-mail электронная версия опубликованной статьи в формате pdf. После выхода номера в свет автор может бесплатно получить в редакции до трех экземпляров журнала.
- С аспирантов плата за статьи не взимается.

**Адрес редакции:**

**105187, Москва, Окружной проезд, д. 18.**

**Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095.**

**E-mail: [info@geomark.ru](mailto:info@geomark.ru)**





## Журнал «Инженерная геология»

стал одним из наиболее востребованных печатных изданий в нашем профессиональном сообществе. Сотрудники редакции постоянно работают над дальнейшим повышением качества журнала. Все статьи проходят рецензирование членами редакционной коллегии и внешними рецензентами, научное и литературное редактирование. Вы, читатели, можете внести свой вклад в развитие журнала, присылая в редакцию свои статьи, подписываясь на «Инженерную геологию».

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