

## АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ И ВОДОРОД-РАДОНОВЫЙ МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОЛЗНЯ Часть 2

В.Н. Шулейкин  
ИПНГ РАН, e-mail: [shvn1947@yandex.ru](mailto:shvn1947@yandex.ru)

В статье автора «Атмосферно-электрический и водород-радоновый мониторинг напряженного состояния оползня» (часть 1) было введено понятие относительной газопроницаемости –  $G(I)$ , где  $I$  – номер профиля, позволяющей оценить напряженное состояние отдельных участков тела оползня. Относительная газопроницаемость оценивалась по содержанию водорода грунта в системе наблюдательных пикетов. Зарегистрированные концентрации летучего газа нормировались по максимальному значению контролируемого параметра [1–2]. Максимальное значение относительной газопроницаемости присуще состоянию растяжения; минимальное – сжатию. Принимая во внимание связи между водородом, метаном, радоном и элементами приземного атмосферного электричества относительная газопроницаемость оценивается как функция отношений [3–5]:

- радон грунта / радон атмосферы;
- суммарная полярная проводимость воздуха / радон грунта;
- обратная величина атмосферного электрического поля / радон грунта.

Рассмотрим результаты 9 циклов наблюдений относительной газопроницаемости на оползне, современные движения которого были спровоцированы прокладкой газопровода.

### **Инженерно-геологические особенности объекта исследований**

Для проведения экспериментальных исследований был выбран участок «14-й км газопровода Невинномысск – Черкесск», представляющий собой склон (крутизной 1/6), на котором возник современный оползень. Склон сложен глинами конк-караганского горизонта нижнего неогена –  $N^1_1$  кп+кд. Верхняя часть коренного склона не затронута оползневыми процессами.

По материалам инженерно-геологического разреза на линии I–I длина исследуемого участка оползневого тела составляет 300–350 м (рис. 1).

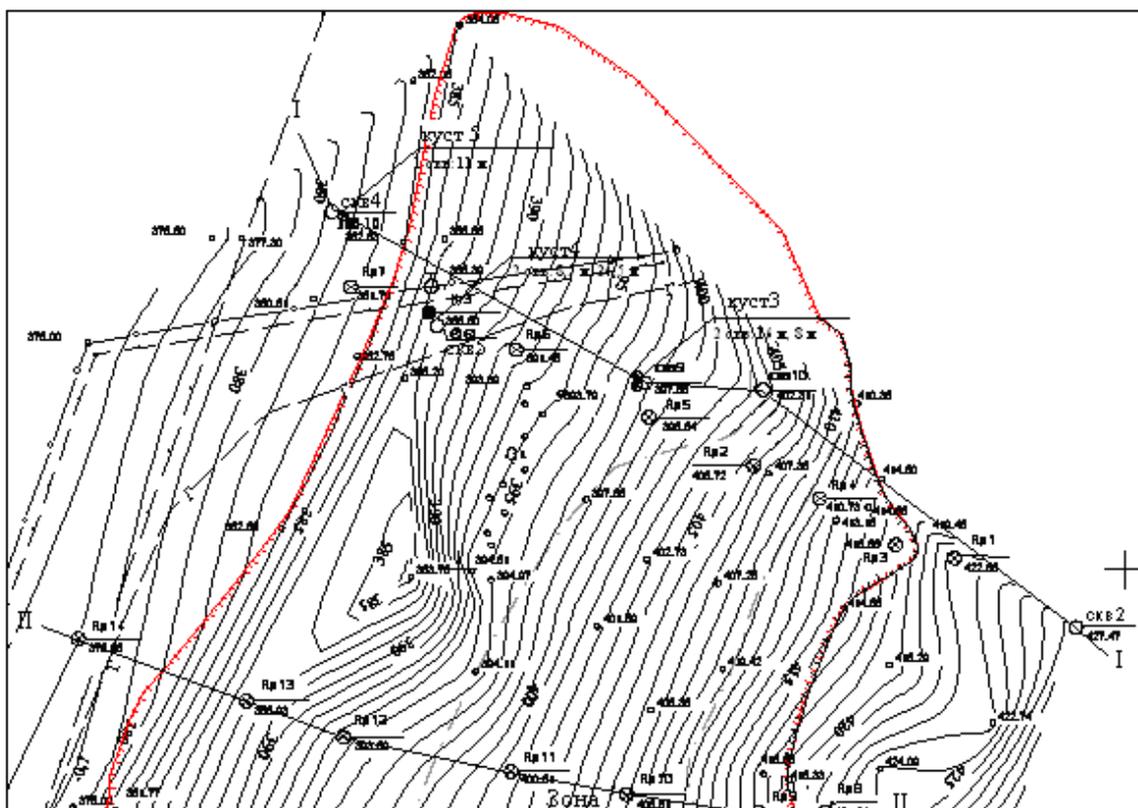


Рис. 1. Топографический план исследуемого оползня

Перепад высот между бровкой ниши отрыва и подножьем оползня около 30 м. В верхней части оползня (приблизительно на первую четверть длины), вблизи ниши отрыва мощность оползневых отложений плавно возрастает с 4 до 10 м вниз по склону, уклон поверхности оползня при этом незначителен. На второй и третьей четвертях длины мощность оползневых отложений возрастает с 10 до 24 м, уклон поверхности резко возрастает. В последней, нижней, четверти мощность оползневых отложений уменьшается с 24 м до нуля. Очевидно, что оползневые процессы развивались в элювиально-делювиальных отложениях коренного склона, так как основной объем оползневых отложений имеет элювиально-делювиальное происхождение. По своим физико-механическим свойствам эти отложения отнесены к инженерно-геологическим элементам  $dpQIv(d)$  и  $dpQIv(d - e)$ .

Характер влияния свойств пород инженерно-геологических элементов, формирующих основной объем оползневого тела и верхнюю часть коренного склона, на их газопроницаемость отражен в табл. 1.

**Свойства оползневых отложений и пород верхней части коренного склона,  
не затронутых современным оползнем**

Инженерно-геологический элемент	Влажность	Плотность	Пористость	Степень влажности	Возраст пород – описание – генезис
Оползневые отложения	29,0	1,96	44,4	0,991	dpQIV(d) – глина желтовато-коричневая, комковатая, с дресвой и обломками песчаников, много разноориентированных зеркал скольжения – делювиального генезиса
Оползневые отложения	30,9	1,94	45,7	0,999	dpQIV(d – e) – глина зеленовато-коричневая, комковатая, с фрагментами слоистости, с прослоями и линзами ожелезненного песка, много гипса, зеркала скольжения – делювиально-элювиального генезиса
Нерасчлененные отложения, не затронутые современным оползнем	27,12	2,01	42,5	1,021	dQIV – глина зеленовато-коричневая, комковатая, с дресвой и обломками песчаников – делювиального генезиса
Нерасчлененные отложения, не затронутые современным оползнем	29,7	1,84	49,1	0,916	e <sub>2-3</sub> QIV – переслаивание глины темно-коричневой, трещиноватой, слоистой и песка ожелезненного с включениями гипса – элювиального генезиса
Нерасчлененные отложения, не затронутые современным оползнем	29,8	1,92	45,6	0,948	e <sub>3-4</sub> QIV – глина темнокоричневая, тонкослоистая, с присыпками песка, трещиноватая, с пятнами ожелезнения, с гнездами гипса – элювиального генезиса

Анализ данных, представленных в табл. 1, позволяет сделать следующие выводы:

1. Влияние вариаций гранулометрического состава пород исследуемого участка на газопроницаемость можно не учитывать, так как коренной склон и оползневое тело сложены глинистыми породами, которые имеют одинаковую незначительную газопроницаемость порядка  $10^{-3}$  миллиарда.

2. Пористости образцов оползневых и элювиально-делювиальных отложений имеют близкие значения (42–49%).

3. Степени водонасыщения оползневых и элювиально-делювиальных отложений практически одинаковые и близки к 1 (состояние полного водонасыщения).

Таким образом, оползневые и элювиально-делювиальные отложения на исследуемом участке обладают одинаковыми свойствами, определяющими их незначительную газопроницаемость по поровому пространству. Основной объем почвенных газов двигается по трещинам.

Объект исследования находится на правом крутом борту долины р. Кубань (рис. 2). Правый борт долины р. Кубань здесь обращен на запад. На юге, вверх по течению р. Кубань, на склоне ее долины полосой расположены оползни. Оползневые тела соприкасаются друг с другом и образуют сложную оползневую зону длиной несколько километров.



Рис. 2. Полоса оползней на склоне долины р. Кубань

Исследуемый участок является частью этой зоны и находится в самом начале ее северной оконечности (рис. 3–4).

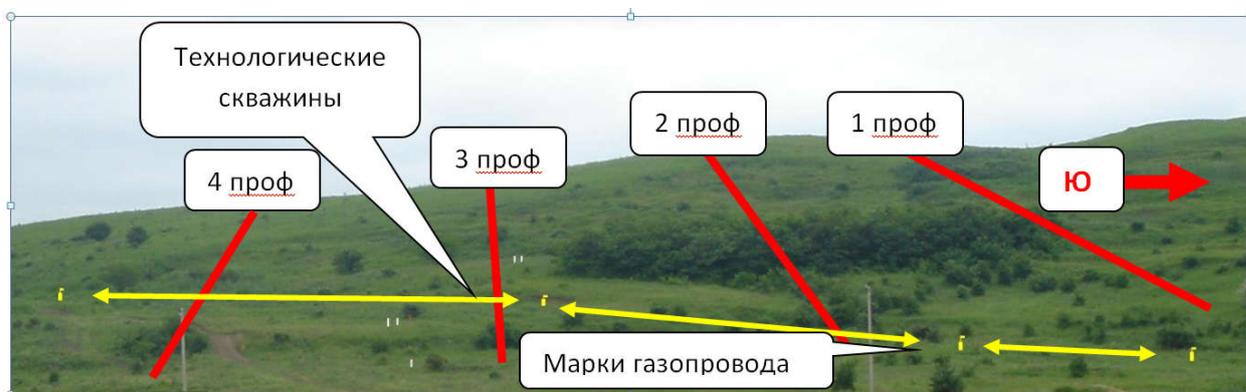


Рис. 3. Наблюдательные профили 1–4 на теле оползня. Столбики с флажками – марки размещения газопровода на исследуемой территории, гребень склона простирается с севера на юг

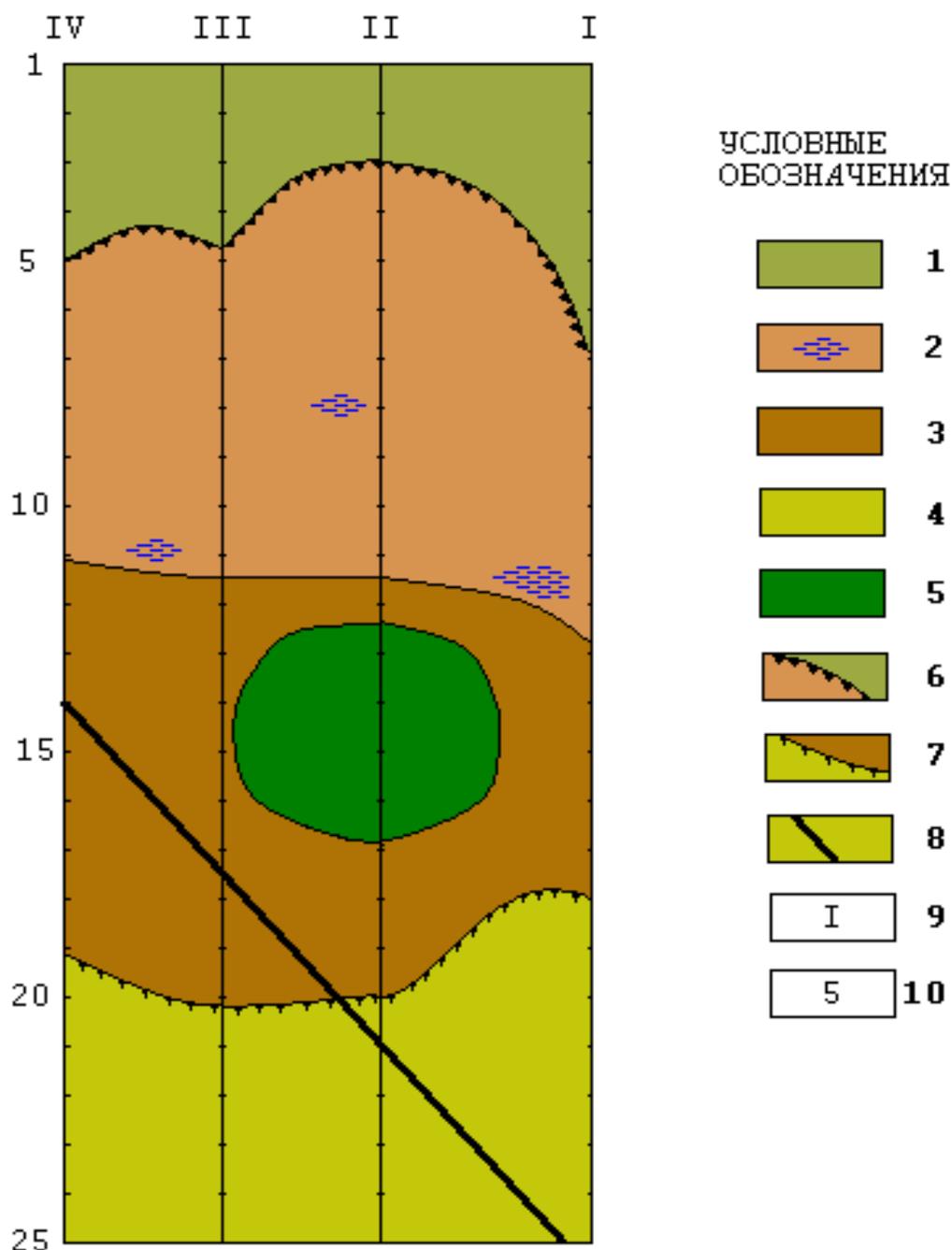


Рис. 4. Схема строения оползневого склона на исследуемом участке (в плане):

- 1 – верхняя часть склона, не затронутая оползновыми процессами;
- 2 – современный активный оползень с заболоченными участками; 3 – старое стабильное оползневое тело; 4 – поверхность надпойменной террасы р. Кубань;
- 5 – участок старого оползня, заросший лесом; 6 – ниша отрыва современного активного оползня; 7 – кромка уступа фронтальной части старого стабильного оползневого тела;
- 8 – трасса трубопровода; 9 – номер профиля; 10 – номер пикета

Верхняя часть участка включает верхнюю, выположенную часть склона, не затронутую оползневыми процессами. Склон, расположенный выше исследуемого участка, переходит в плавно поднимающуюся к югу слабохолмистую поверхность.

Ниже выположенной части склона находится молодой активный оползень с хорошо выраженными дугообразными нишами отрыва. Общая высота стенок отрыва не более 6 м. Поверхность оползня состоит из ряда ступеней, образованных смещенными блоками, отделенными друг от друга трещинами, расположенными кулисообразно. Высота ступеней до 1,5 м, ширина – до 3,0 м. Ширина трещин – до 20 см. Встречаются свежие открытые трещины. Вертикальные смещения по свежим трещинам составляют 10–30 см. Дерн разорван, местами отсутствует совсем. В средней части исследуемого участка молодой активный оползень опирается на более старое, ныне стабильное оползневое тело, образуя небольшой бугор выпирания. Перед бугром выпирания поверхность молодого активного оползня имеет обратный уклон, поэтому почва местами сильно увлажнена, есть заболоченные участки с камышом.

Старое стабильное оползневое тело образует площадку, слабо наклоненную на запад, в сторону реки Кубань. Она частично поросла небольшим лесом (роща) и отдельными кустами. Возраст деревьев в роще – около 25–30 лет (определение сделано по годовым кольцам среза одного из сухих деревьев в 2004 г.). Эта роща занимает около 30% площади старого стабильного оползневого тела и, несомненно, способствует сохранению его современного стабильного состояния. Поверхность площадки сглаженная, хорошо задернованная. Свежие трещины отсутствуют. Старое, ныне стабильное оползневое тело опирается на прикрытую делювиальным шлейфом поверхность первой надпойменной террасы р. Кубань и отделяется от нее уступом, хорошо выраженным в рельефе. Поверхность первой надпойменной террасы р. Кубань ровная, слабо наклонена в сторону реки.

### **Результаты наблюдений напряженного состояния оползня**

Рассматриваемый оползень исследовался с использованием системы 4-х линейных параллельных профилей субширотного простирания вниз по телу оползня. Каждый профиль длиной 240 м в свою очередь разбивался на 25 наблюдательных пикетов с шагом 10 м относительно друг друга. Схема относительного расположения наблюдательных профилей и пикетов приведена на рис. 5.

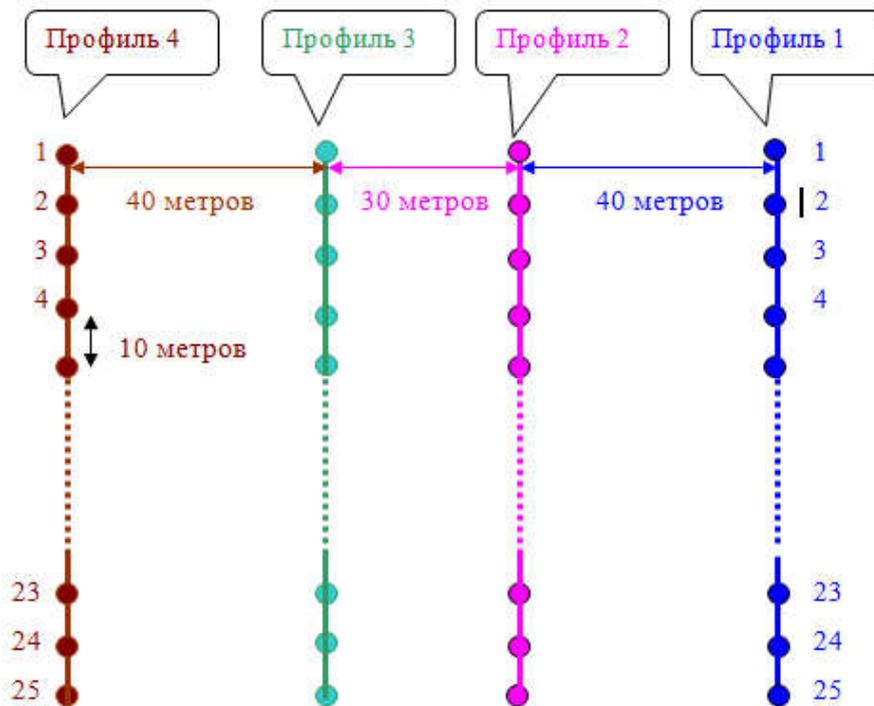


Рис. 5. Расположение наблюдательных профилей и пикетов на рассматриваемом склоне (пикет 1 профиля 2 совпадает со стационарным металлическим репером R1; пикет 3 профиля 3 – со стационарным металлическим репером R3, см. рис. 1)

На этих пикетах в период с июня 2004 г. по июнь 2008 г. было проведено 9 циклов измерений относительной газопроницаемости пород. Для контроля изменений напряженного состояния оползня рассматривались разности относительной газопроницаемости (между результатами измерений 2 и 1 циклов –  $dG_i(2/1)$ , 3 и 1 циклов –  $dG_i(3/1)$  и т. д.). Положительные вариации разностной относительной газопроницаемости означали процесс растяжения; нулевые – неизменность напряженного состояния части оползня; отрицательные – процесс сжатия. На рис. 6–9 приведены суммарные разностные относительные газопроницаемости, зафиксированные на каждом наблюдательном профиле. Рассматриваемые разностные характеристики представлены только по наблюдательным пикетам, расположенным непосредственно на теле оползня.

Первые 6 пикетов профиля 1 находятся на теле молодого оползня. За исключением 3-го цикла наблюдений на первых 5 пикетах наблюдается слабое растяжение; на 6-м пикете, где находится бугор выпирания, – сжатие. Расположенный ниже по склону древний оползень на пикетах 8–12 находится в состоянии сжатия; на пикете 7 – в состоянии растяжения из-за сдерживающего эффекта бугра выпирания молодого оползня (см. рис. 6).

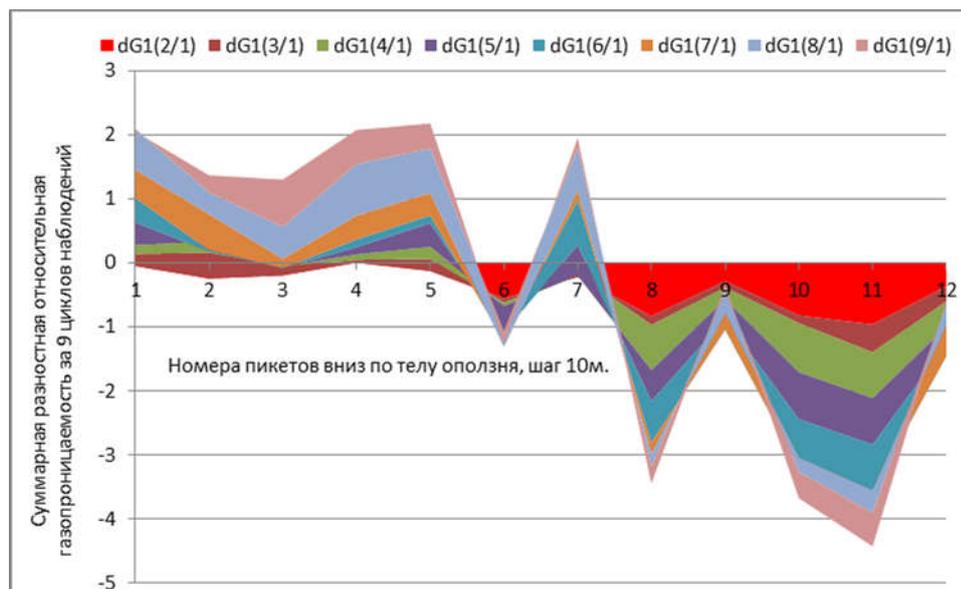


Рис. 6. Динамика разностных относительных газопроницаемостей за 9 циклов наблюдений на профиле 1

Следующий график (см. рис. 7) представляет вариации разностной относительной газопроницаемости на профиле 2. Первые 9 пикетов лежат на теле молодого оползня, остальные – на теле древнего. Состояние оползня на границе (пикеты 9 и 10), характеризуется минимальным изменением за все 9 циклов измерений. На профиле 2 тело древнего оползня находится в состоянии растяжения. Наиболее вероятная причина тому – стабилизирующий эффект корневой системы роши, покрывающей половину его площади.

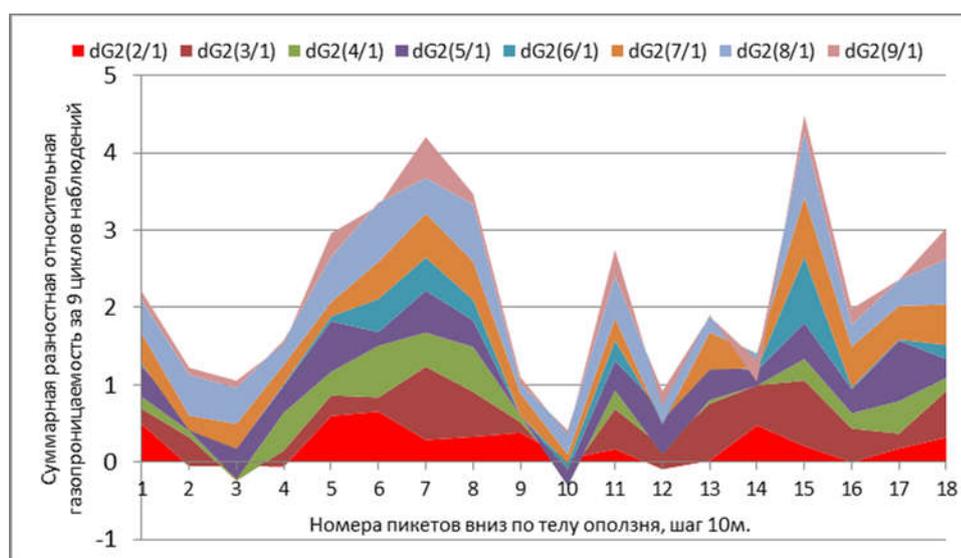


Рис. 7. Динамика разностных относительных газопроницаемостей за 9 циклов наблюдений на профиле 2

На профиле 3 первые 6 пикетов расположены на теле молодого оползня. На них наблюдается увеличение относительной газопроницаемости – процесс растяжения. В зоне бугра выпирания (6-й пикет), изменений напряженного состояния практически не заметно. На теле старого оползня присутствуют несколько искусственных внедрений: между пикетами 13 и 14 профиль пересекает газопровод; в районе пикетов 12–14 – куст технологических скважин. На пикетах 10–12, 14 заметных изменений напряженного состояния не наблюдалось; на пикете 13 устойчиво повторялось слабое растяжение (см. рис. 8).

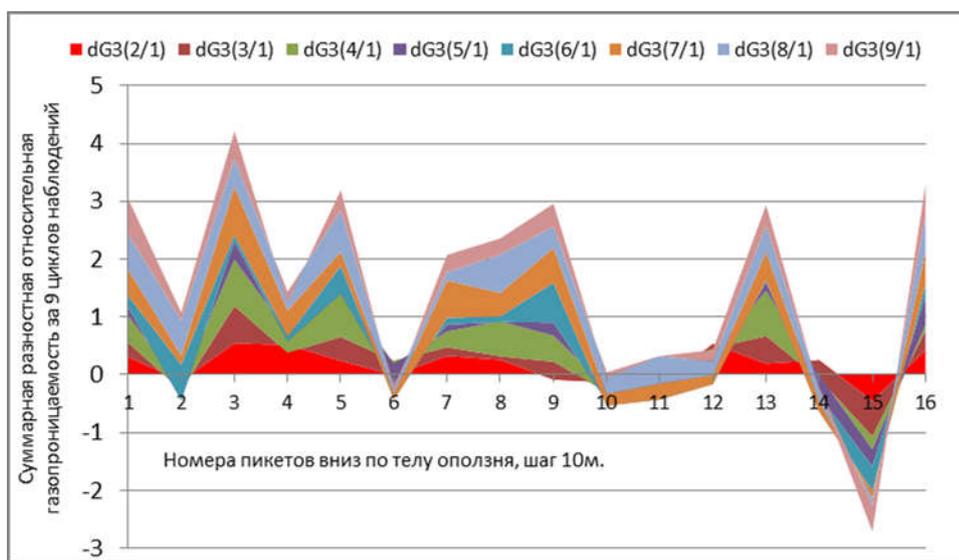


Рис. 8. Динамика разностных относительных газопроницаемостей за 9 циклов наблюдений на профиле 3

Последний, 4-й профиль имеет пересечение с газопроводом на уровне 10-го пикета (см. рис. 9). На уровне 10-го пикета колебания суммы разностной относительной газопроницаемости происходят вокруг нулевого уровня. За 9 циклов наблюдений напряженное состояние оползня здесь было весьма стабильно. То есть за 5 лет наблюдений нагрузка на трубу газопровода практически осталась неизменной.

Обращает на себя внимание факт устойчивого состояния растяжения на 9-ом пикете профиля 4. Причиной тому, скорее всего, является отвод влаги по дренажной системе вдоль трубопровода. Подтверждение высказанного предположения кроется в росте относительной газопроницаемости ниже трубопровода, куда воды, стекающие по склону, практически не попадают, отсеченные дренажной системой.

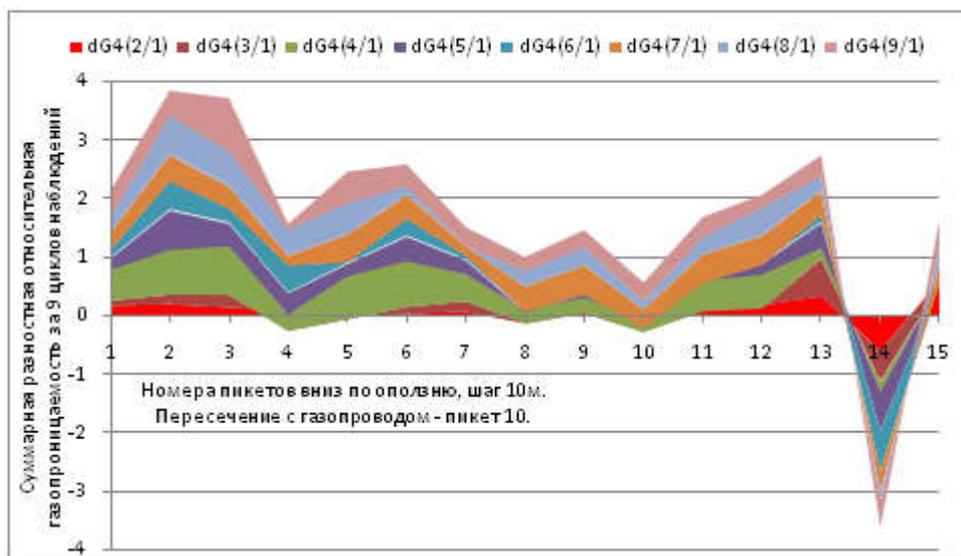


Рис. 9. Динамика разностных относительных газопроницаемостей за 9 циклов наблюдений на профиле 4

Для количественной оценки динамики исследуемого оползня в целом за 9 циклов наблюдений рассмотрим коэффициенты корреляции разностных относительных газопроницаемостей (рис. 10). Как следует из графиков на рис. 10, самое устойчивое состояние оползня за 5 лет наблюдений зарегистрировано по линии профиля 1. Несколько меньшие по величине, но значащие коэффициенты корреляции, полученные между парами разностных характеристик, наблюдаются и по линии профиля 4. За исключением пары (dG2/1; dG4/1) коэффициенты корреляции варьируют вокруг среднего уровня (0,6).

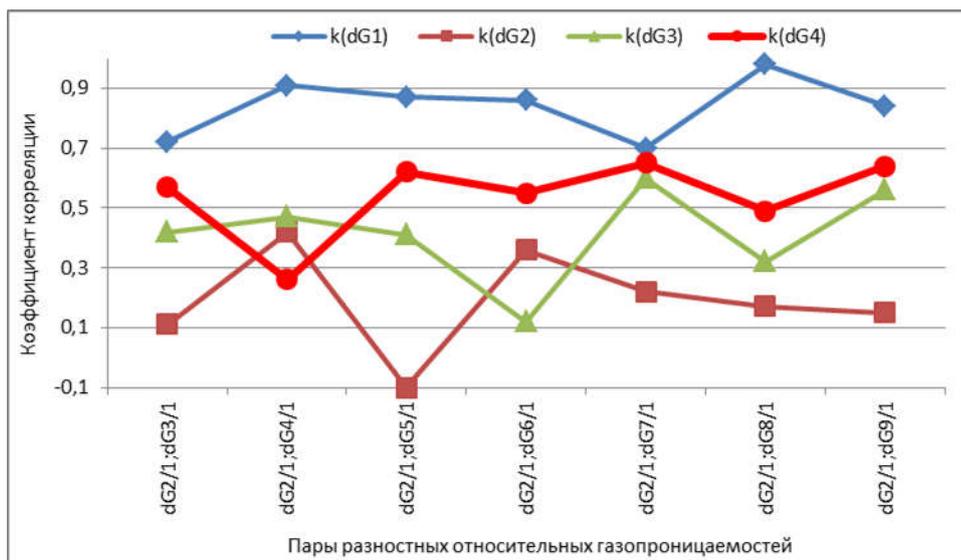


Рис. 10. Коэффициенты корреляции пар разностных относительных газопроницаемостей на профилях 1–4 и по всему оползню в целом за 9 циклов наблюдений

Видимо, эти два профиля вносят основной весовой вклад в коэффициенты корреляции между парами разностных характеристик по всему телу оползня  $k(dG)$ , которые лежат в диапазоне  $\sim [0,5-0,6]$ .

Самый большой разброс разностных характеристик (не значимые коэффициенты корреляции) зарегистрирован на профиле 2 ( $k(dG_2)$  составляют  $\sim [(-0,1)-0,4]$ ). Причину этого можно искать в контрастных особенностях исследуемого геологического образования по линии профиля 2. С одной стороны, в средней части молодого оползня лежит заболоченный участок, инфильтрация талых вод и осадков на который максимальна из-за топографических особенностей выположенной части склона, не затронутой оползневыми процессами, то есть, подвижки этой части оползня наиболее вероятны. С другой стороны, половина площади древнего оползня максимально стабилизирована корневой системой присутствующих там 30-летних деревьев и кустарников.

Вернемся еще раз к первым результатам контроля напряженного состояния геологической среды по результатам наблюдений полярной проводимости воздуха (см. рис. 6 в статье автора «Атмосферно-электрический и водород-радоновый мониторинг напряженного состояния оползня», часть 1). Для анализа напряженного состояния насыпной ступени грунта на левом берегу р. Москвы использовались абсолютные значения относительной газопроницаемости  $G_1-G_3$ . Предполагалось, что единичному значению относительной газопроницаемости соответствует состояние максимального растяжения; нулевому – состояние максимального сжатия; ненапряженному состоянию соответствует значение относительной газопроницаемости 0,5.

Подобное модельное представление будет справедливым для горизонтального участка исследуемой территории. В рассмотренном случае (см. рис. 6 в статье автора «Атмосферно-электрический и водород-радоновый мониторинг напряженного состояния оползня», часть 1) это участок у торца аварийного здания, где был заложен профиль 1. Профили 2 и 3 проходили по наклонной части насыпной ступени. Здесь составляющая силы тяжести, ортогональная поверхности скольжения, обеспечивает сцепление с этой поверхностью тела оползня. Наклонная же составляющая, параллельная поверхности скольжения, неизбежно провоцирует сжатие порового пространства и пространства трещин насыпной ступени. В результате деформаций значение относительной газопроницаемости на наклонном участке грунта будет по определению ниже 0,5.

Следуя логике текущего изложения, проанализируем вариации относительных газопроницаемостей G2 и G3 на профилях ниже неработающего контрафорса. В средних точках профилей (ниже контрафорса) относительные газопроницаемости G2/2 и G3/2 ниже, чем на крайних. Причина этого снижения в том, что сжатие грунта на данных пикетах вызвано нагрузкой со стороны срезанного контрафорса, вес которого естественно больше, чем вес вынутаго грунта в месте его установки.

В ходе последнего 9-го цикла наблюдений (помимо повторного опроса 4-х наблюдательных профилей на теле оползня) севернее исследуемой территории был заложен дополнительный 5-й профиль на участке склона, не затронутого оползневыми процессами (см. рис. 6–9). По визуальной оценке крутизна склона на площади нового профиля повторяла крутизну склона на оползне. На новом профиле было заложено 18 наблюдательных пикетов. Средняя относительная газопроницаемость на профиле G5 = 0,44. Для количественного сравнения в табл. 2 приведены средние значения относительных газопроницаемостей по профилям на теле оползня (G1–G4) и по новому дополнительному профилю за пределами тела оползня G5.

*Таблица 2*

**Средние значения относительной газопроницаемости по профилям на теле оползня (G1–G4) и вне оползня G5**

	G1	G2	G3	G4	G5
Среднее значение относительной газопроницаемости $G_i$	0,52	0,32	0,49	0,53	0,44

Из табл. 2 видно, что средняя относительная газопроницаемость на профилях 1, 3 и 4 больше, чем на профиле 5. Это значит, что в рамках рассматриваемых модельных представлений на момент наблюдений геологическая среда, в среднем, по линии этих профилей находится в ненапряженном состоянии.

На участке оползня по линии профиля 2 среда находится в состоянии сжатия. Здесь минимальная относительная газопроницаемость наблюдается на участке молодого оползня на пикетах 3 и 10. Пикет 3 расположен в верхней части оползня, непосредственно под нишей отрыва, где происходит сдерживание давления, создаваемого сильно увлажненной верхней частью склона, не затронутой оползневыми процессами (см. рис. 4 и 7). Самая минимальная газопроницаемость (максимальное сжатие) зарегистрирована на пикете 10, перед бугром выпирания молодого оползня.

Представленные материалы 9-ти циклов полевых наблюдений на оползне, современные движения которого были спровоцированы прокладкой газопровода, и их анализ позволяют утверждать, что

- предложенная методика комплексных водород–радоновых и атмосферно-электрических измерений дает возможность уверенно контролировать текущее напряженное состояние оползневого тела;

- повторная реализация методики по единой системе наблюдательных пикетов на исследуемом геологическом образовании позволяет отслеживать изменения напряженного состояния оползня за временной интервал между циклами измерений;

- в зависимости от требований к точности наблюдений при решении конкретной задачи в ходе работ можно использовать не весь газовый и атмосферно-электрический комплекс, а ограничиться измерениями одного–двух параметров;

- используемый измерительный комплекс укомплектован исключительно отечественным аппаратурным парком и позволяет получать результат в режиме реального времени.

### **Заключение**

Эффект изменения атмосферного электрического поля (АЭП) при деформации приповерхностных слоев грунта указал на возможность использования комплекса атмосферно-электрических и водород-радоновых наблюдений при контроле напряженного состояния геологической среды [6]. Движение газов в грунтах и горных породах происходит благодаря наличию в них сообщающихся между собой пор и трещин. Наличие влаги, особенно в случае заполнения водой порового пространства и трещин, существенно уменьшает газопроницаемость. В грунтах, состоящих из частиц с характерным размером менее 0,5 мм, уже при 20–30-процентном водонасыщении газопроницаемость практически равна нулю. При меньшем водонасыщении грунта газопроницаемость несет информацию о текущем напряженном состоянии: максимальная газопроницаемость будет соответствовать состоянию растяжения; минимальная – сжатию.

Относительную газопроницаемость можно контролировать по содержанию водорода грунта, образцы которого отбираются из одинаковых пробозаборных скважин и нормируются по максимальному значению контролируемого параметра в пределах всей исследуемой территории. Вне углеводородных скоплений, в отсутствии мелкого субвертикального потока метана та же характеристика может быть получена из

отношений: объемной активности радона атмосферы и радона грунта; полярных проводимостей и радона грунта; обратной величины АЭП и радона грунта. При этом, если в результатах многочасовых наблюдений водорода неизбежно присутствует суточная вариация контролируемого параметра, то при оценке относительной газопроницаемости из отношений указанных выше пар параметров Земли и атмосферы суточная вариация будет минимизирована.

Описанная в статье процедура контроля напряженного состояния геологической среды использовалась в 9-ти последовательных циклах наблюдений на оползне у хутора Усть-Невинский (Ставропольский край), современные движения которого были спровоцированы прокладкой газопровода. Анализ разностных относительных газопроницаемостей между вторым и первым, третьим и первым ..., девятым и первым циклами наблюдений позволяют оценить динамику напряженного состояния оползня за весь период измерений.

На пересечении с газовой трубой разностная газопроницаемость колеблется вокруг нулевого уровня (напряженное состояние оползня за 5 лет наблюдений не изменилось). У бугра выпирания на стыке молодого и старого оползней, выше куста технологических скважин на теле оползня стабильно регистрируется минимальная газопроницаемость (неизменное состояние сжатия).

Цикл измерений на оползне у хутора Усть-Невинский занимал 4–5 дней. В ходе каждого цикла на 100 пикетах регистрировались все атмосферно-электрические и газовые параметры. По сути, для контроля напряженного состояния оползня можно было ограничиться одним–двумя десятками наблюдательных пикетов вокруг газовой трубы с измерением на них всего лишь 2–3-х параметров, то есть, свести цикл наблюдений к нескольким часам. Реализованный последовательный опрос 100 пикетов (в каждом из 9 циклов наблюдений) проводился для иллюстрации возможностей разработанной комплексной, многопараметрической методики оперативного контроля напряженного состояния оползня. Для решения конкретных практических задач с учетом специфики известного объекта наблюдений весь комплекс может быть существенно упрощен.

Последняя серия наблюдений на оползне у хутора Усть-Невинский была проведена в 2008 г. Технический прогресс последних 6 лет позволяет высказать ряд практических рекомендаций по современной практической реализации методики контроля за напряженным состоянием тела оползня.

Во-первых, создание пробозаборной скважины необходимо вести с использованием мотобура с полым шнеком. Более того, очевидна целесообразность стационарной установки в скважине пробозаборного колокола со шлангом, выведенным на поверхность Земли. Эти подготовительные работы, с одной стороны, упраздняют необходимость повторного бурения пробозаборных скважин в каждом цикле наблюдений, с другой стороны, – зафиксировав местоположение наблюдательных пикетов на объекте исследований.

Во-вторых, при производстве измерений следует использовать более современный аппаратный парк. Как отмечалось в статье автора («Атмосферно-электрический и водород–радоновый мониторинг напряженного состояния оползня», часть 1), относительная ошибка единичного отсчета датчика радона РГА-01 равна 30%. Та же точность у более современных измерительных инструментов Сидар МР-106Н, РРА-01М-01, построенных на принципе счета вспышек флюоресцирующего покрытия стенок рабочего объема датчика при соударении с альфа-частицей.

Последние годы на отечественном аппаратном рынке появился радиометр для измерения объемной активности радона «AlphaGUARD» (изготовитель – Genitron Instruments GmbH), в качестве детектора которого используется импульсная ионизационная камера. Специальный фильтр прибора обеспечивает попадание внутрь камеры радиоактивного изотопа  $Rn^{222}$ , задерживает прочие изотопы, влагу и пыль. Исследуемый воздух диффундирует в ионизационную камеру, что позволяет измерять среднюю объемную активность радона за интервал времени ~ 10 минут с относительной ошибкой порядка 5%. Результаты наблюдений с использованием этого измерительного инструмента можно найти в работе [7].

В МИФИ разработан более совершенный датчик объемной концентрации водорода ВГ-3 [8]. Указанные датчики радона и водорода укомплектованы картой памяти, позволяющей выполнять прямой ввод зарегистрированных результатов измерений в компьютер, то есть, исключать из процесса набора и обработки информации «эффект оператора» (ошибки при записи и вводе в обработку данных измерений). Использование перечисленных технических и аппаратных усовершенствований позволит существенно оптимизировать процесс измерений с одновременным повышением качества собираемого полевого материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Шулейкин В.Н., Резниченко А.П., Никулин Д.А.* Газопроницаемость – контрольный параметр напряженного состояния оползня // Сб. трудов VII геофиз. чтений им. В.В. Федынского «Геофизика XXI столетия: 2005 год». М.: Научный мир. 2006. С. 341–346.
2. *Шулейкин В.Н.* Контроль напряженного состояния оползневого склона на трассе трубопровода // Oil & Gas Journal Russia. 2012. № 9(64). С. 82–87.
3. *Зубарев А.П., Шулейкин В.Н.* Комплексный геофизический и геохимический контроль при эксплуатации подземных газохранилищ. М.: Изд-во ООО «Газпром ПХГ», 2009. 264 с.
4. *Шулейкин В.Н.*, Радон почвенного и атмосферного воздуха и дегазация Земли [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2010. Вып. 1(1). 13 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.07.2017).
5. *Шулейкин В.Н.* Пары воды, атмосферное электричество и поступление радона в приповерхностные слои грунта и атмосферу // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 3. С. 67–75.
6. *Шулейкин В.Н., Щукин Г.Г., Куповых Г.В.* Развитие методов и средств прикладной геофизики – атмосферно-электрический мониторинг геологических неоднородностей и зон геодинамических процессов. СПб., 2015. 206 с.
7. *Кудринская Т.В.* Экспериментальные исследования процессов ионизации в атмосферном приземном слое: Автореф. дис.... канд. физ.-мат. наук. Нальчик, 2013. 20 с.
8. *Литвинов А.В., Калинина Л.Н., Николаев И.Н.* Газоанализатор водорода с малой потребляемой мощностью на базе МДП-сенсора // Метрология. 2012. № 12. С. 37–41.