

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ НАД СКОПЛЕНИЯМИ УГЛЕВОДОРОДОВ

В.Н. Шулейкин
ИПНГ РАН, e-mail: shvn@front.ru

1. Элементы приземного атмосферного электричества в геофизических задачах

Интерес геофизиков к элементам приземного атмосферного электричества как к характеристикам атмосферы, связанным с процессами в земной коре, возник в двадцатые годы XIX века. В работе Е.А. Чернявского «Электрическая буря» [1] рассмотрены аномальные всплески атмосферного электрического поля (АЭП), многократно превышающие фоновый уровень. В последующих публикациях [2, 3] автором отмечалось возникновение аналогичных явлений в период подготовки землетрясений. Зарегистрированные аномальные отклонения существенно отличались от фонового уровня, проявлялись за десятки минут, часы перед сейсмическим событием и носили биполярный характер.

На Гармском прогностическом полигоне Института физики Земли РАН (Средняя Азия, Таджикистан) большая работа по контролю атмосферного электрического поля в сейсмоактивном регионе была проведена В.Ф. Бончковским [4, 5]. Ретроспективный анализ полученного полевого материала заставил отбраковать часть зарегистрированных аномальных изменений поля как связанных исключительно с текущими изменениями метеорологической ситуации [6]. Однако с учетом уровня научных знаний и возможностей аппаратуры того времени необходимо отдать дань уважения высокому профессионализму ученого, получившего уникальный экспериментальный материал в 40–50-е годы прошлого века.

В обобщающих работах по электромагнитным предвестникам землетрясений [7, 8] высказывались гипотезы о генерации в эпицентральной зоне готовящегося землетрясения локального заряда, кругового или линейного токового источника. При моделировании процессов в земной коре в ходе подготовки сейсмического события использовались данные об известных механоэлектрических эффектах и явлениях (эффект Степанова, пьезоэлектрический эффект, электрокинетические явления, электризация при трении и разрушении горных пород, деформация двойных электрических слоев). Однако, согласно [7], моделируемые процессы представляются маловероятными, т. к. требуют наличия

локальных, близких к дневной поверхности высокоомных областей, наличие которых возможно лишь в исключительных случаях.

По представлениям основоположников теории приземного атмосферного электричества П.Н. Тверского и Дж. Чалмерса [9, 10], объемный заряд приземного слоя возникает вследствие ионизации воздуха радоном-222. Согласно [9], в слое воздуха до высот 0,5 км ионизация на 75% обязана своим происхождением гамма-излучению почвенного радона и на 25% – космическим лучам; в слое в диапазоне высот 0,5–1,0 км ситуация меняется – 64% воздуха ионизируется космическими лучами и только 36% – почвенным радоном.

Отрицательный заряд Земли приводит к проявлению до высот первого десятка метров относительно дневной поверхности электродного эффекта [11, 12]: на уровне дневной поверхности концентрация положительных ионов максимальна, концентрация отрицательных – нулевая. При росте эксхалляции радона относительно текущих средних значений в зоне действия электродного эффекта наблюдается образование избытка отрицательного объемного заряда. Это приводит к спаду поля ниже локального фона, а при аномальной концентрации ионизатора возможна смена знака АЭП. Радон поступает в приповерхностную атмосферу с субвертикальными потоками летучих газов почвенного воздуха, плотность которых определяется локальной геологией и геодинамикой. Таким образом, радиогенный газ является основным связующим звеном, определяющим причинную связь между неоднородностями и процессами в Земле и электрическими характеристиками приземного воздуха.

Косвенное подтверждение радоновой природы вариаций поля было получено в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова при исследованиях внутригодовых перепадов АЭП и площадей снежного покрова в Северном полушарии [13]. На материалах многолетних обсерваторских наблюдений удалось показать, что перепад средних значений поля зима-лето пропорционален площади снежного покрова в Северном полушарии: увеличение последней приводит к росту внутригодовых перепадов поля, и наоборот. Аналогичный результат проявился в связях перепадов поля зима-лето с высотой снежного покрова [14]. Промерзание грунта и высокий уровень снежного покрова приведут в зимний период к накоплению радона в приповерхностных слоях грунта, к снижению поступления ионизатора в приповерхностные слои атмосферы. В результате средние значения АЭП будут возрастать. Летом, в свою очередь, будет

наблюдаться интенсификация эксхалляции почвенного радона в приповерхностную атмосферу, что приведет к снижению средних значений поля.

Рассмотрим экспериментальные примеры спада и роста АЭП, вызванных геологическими и геодинамическими особенностями контролируемых территорий.

В результате анализа данных профильных АЭП-наблюдений на Новоселковском рудопроявлении [15–17], выполненных на 48 наблюдательных пикетах, была введена градация выделенных эквипотенциальных зон:

- 1-я зона – зона рудного тела, $179 \text{ В/м} < E < 238 \text{ В/м}$, охватывает 19 пикетов, среднее значение поля $E = (221 \pm 18) \text{ В/м}$;

- 2-я зона – пограничная зона, $250 \text{ В/м} < E < 274 \text{ В/м}$, охватывает 15 пикетов, среднее значение поля $E = (261 \pm 10) \text{ В/м}$;

- 3-я зона – зона вне рудного тела, $E < 286 \text{ В/м}$, охватывает 14 пикетов, среднее значение поля $E = (309 \pm 37) \text{ В/м}$.

По амплитудам средних значений перепады поля при переходе от одной зоны к другой достаточно велики: $\Delta E(1, 2) = 40 \text{ В/м}$, $\Delta E(1, 3) = 88 \text{ В/м}$, $\Delta E(2, 3) = 48 \text{ В/м}$. Спад поля в зоне проекции рудного тела на дневную поверхность обусловлен электрохимическими процессами в шапке ильменит-магнетитового месторождения, интенсифицирующими воздухообмен в системе почва – атмосфера. Следствие этой интенсификации – рост эксхалляции почвенного радона, который и вызывает наблюдаемый спад АЭП.

Обратное явление – рост АЭП – удалось зарегистрировать при проведении профильных наблюдений поля над депрессионной воронкой городской водозаборной станции (глубина залегания и мощность эксплуатационного горизонта 80 и 20 м соответственно, г. Светлогорск, Белоруссия) [18, 19]. Измерения проводились с помощью стационарного и мобильного флюксометров «Поле-2». Стационарный флюксометр непрерывно работал в контрольной точке на полигоне «Узнож»; мобильный устанавливался на автомобиль УАЗ-452 и использовался для измерений АЭП на трассе Узнож – Светлогорск.

На рис. 1 представлены вариации поля на профиле длиной 17,2 км, зарегистрированные при фоновом уровне сигнала в контрольной точке 90–110 В/м. Обращают на себя внимание пиковые амплитуды поля в непосредственной близости от водозаборной станции – отметка 5 наблюдательного профиля, 2,4 км от его начала.

Утром, днем и вечером они доходят до величин 400, 900, 600 В/м соответственно. Депрессионная воронка, образованная в пласте в ходе водозабора и вытянутая в направлении трассы Светлогорск – Узнож, минимизирует воздухообмен между почвой и атмосферой, что и приводит к спаду эксхалции почвенного радона – к высоким значениям поля.

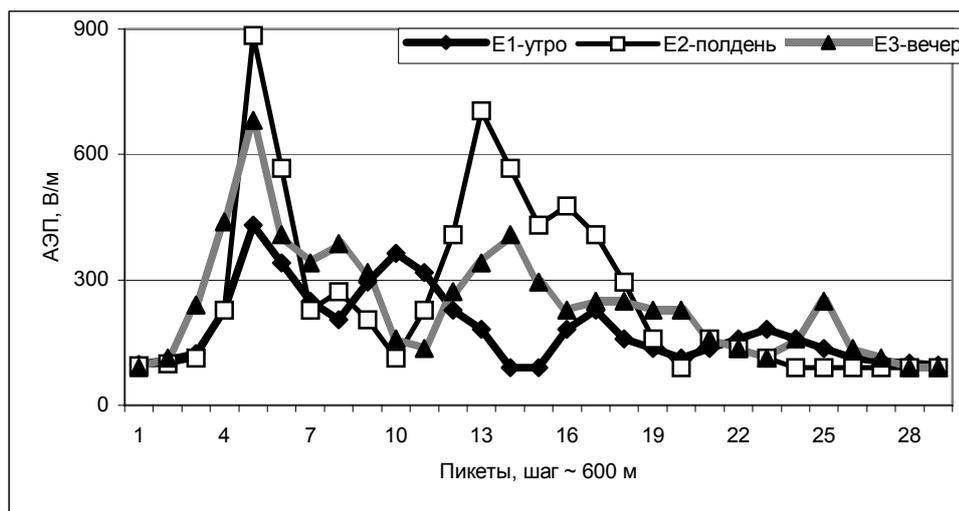


Рис. 1. Пространственные вариации АЭП над зоной промышленного водозабора

На рис. 2 представлены временные вариации АЭП, зарегистрированные установленным у устья нагнетательной скважины флюксометром «Поле-2» [20, 21]. В скважину на глубину 50 м производилась 30-минутная закачка 30 м^3 воды с образованием гидроразрыва. Приблизительно на 20-й минуте закачки наблюдался резкий спад сигнала с последующей сменой знака поля до величин (-140)–(-150) В/м. Причина спада поля – быстрые деформационные процессы в момент образования гидроразрыва (1–2 минуты после начала закачки), провоцирующие сжатие порового пространства и, соответственно, мощный локальный выброс ионизатора в атмосферу.

После начала закачки 1 – 9-я минута временной шкалы (рис. 2) – на 32–33-й минуте начинается спад поля с последующей сменой знака. Т. е. через 23–24 минуты после начала закачки АЭП меняет знак на противоположный. Этот временной интервал соответствует половине времени жизни тяжелых ионов, ответственных за локальное поле [8]. Естественно, что максимальная плотность отрицательного объемного заряда, а значит,

самое низкое отрицательное поле этого заряда будет наблюдаться примерно в середине времени жизни тяжелых ионов.

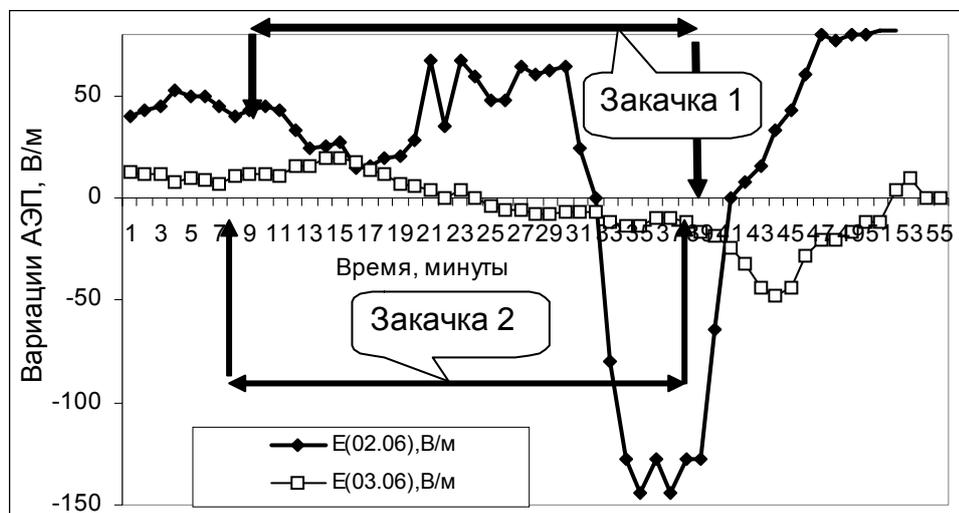


Рис. 2. Вариации АЭП у устья нагнетательной скважины в ходе 1 и 2 циклов закачки 30 м^3 флюида в грунт на глубину 50 м

Повторная закачка 30 м^3 воды в зону гидроразрыва привела к аналогичным вариациям поля у устья нагнетательной скважины, с меньшими амплитудными перепадами, но с сохранением их относительных величин. В ходе первой закачки отношение модулей минимальных отрицательных значений поля к фону до начала цикла составляло величину ~ 4 , при второй закачке отношение сохранилось на уровне величины $\sim 4\text{--}5$.

Причина наблюдаемых изменений АЭП – сжатие порового пространства в результате гидроразрыва и, как следствие, избыточный сброс ионизатора в атмосферу. Это вызывает рост концентрации отрицательного объемного заряда в зоне действия электродного эффекта, что и проявляется в зарегистрированных отрицательных значениях поля.

Очень близкий результат по временной задержке спада АЭП с переполусовкой описан в работе [22]. Здесь в ходе эксперимента проводилась одновременная регистрация поля и акустических шумов в частотном диапазоне до 10 кГц. Синхронные записи этих двух параметров показывают, что через 20–30 минут после резкого увеличения уровня акустических шумов неоднократно наблюдается спад поля со сменой знака. Другими словами, как и в случае гидроразрыва, стимулированный вынос ионизатора в атмосферу

приводит к отрицательным значениям поля приблизительно на середине времени жизни тяжелых ионов. Разница в том, что в качестве стимулирующего воздействия, приведшего к росту объемной концентрации тяжелых ионов, выступает акустическая эмиссия, а не избыточное давление.

Приведенные примеры показывают, что аномальные биполярные вариации атмосферного электрического поля являются следствием работы радонового механизма ионизации приземного воздуха. Наблюдать их удастся не только в процессе подготовки таких уникальных природных явлений, как землетрясения. Амплитуды регистрируемых вариаций могут составлять десятки и сотни процентов от фонового уровня, т. е. будут существенно больше погрешностей измерительных инструментов, которые в условиях стационарной обсерваторской эксплуатации оцениваются величиной $\sim 5\%$, а при наблюдениях в движении 7–8%.

2. Газы-носители радона в приповерхностные слои грунта и атмосферу

Радон почвенного воздуха поступает в приповерхностные слои грунта и атмосферу с глубин 4–6 м при диффузионном механизме миграции и с глубин до первых десятков метров – при конвективном переносе [23]. Высокий молекулярный вес радона (222) исключает возможность его самопроизвольной миграции в приповерхностные слои грунта и атмосферу.

По мере субвертикального подъема водно-газовых систем, особенно в зонах повышенной проницаемости горных пород, растворенные в воде газы стремятся обособиться в отдельные фазы [24–26]. В результате те же газы, но уже в виде отдельных пузырьков начинают двигаться – всплывать к дневной поверхности. Подъем пузырьков сопровождается падением давления и ростом объема, т. е. увеличением площади контакта пузырьков с горной породой и жидкостью: это увеличивает, с одной стороны, вероятность захвата радона, с другой стороны – подъемную силу и, в конечном счете, вероятность переноса газа-эманации в приповерхностные слои грунта и приземную атмосферу.

В геологической среде обособленные пузырьки летучих газов становятся природными дегазаторами, собирающими на себя, наряду с другими газами, радон, который образуется в подземных водно-газовых системах и почвах за счет распада материнского вещества. В конечном итоге с поверхности уровня грунтовых вод в рыхлые

неогенчетвертичные отложения и в отложения почв поступают обогащенные эманациями субвертикальные потоки летучих природных газов.

Радон является газом-эманацией, продуктом распада радия. Полагая, что присутствие радия естественно гарантирует наличие в среде продуктов его распада, можно утверждать, что осадочный чехол в достаточной степени насыщен газом-эманацией Rn-222; концентрация радона в осадочном чехле будет всего лишь на порядок ниже его концентрации в коренных породах.

Материалы экспериментальных исследований [27] показывают, что в большинстве естественных минеральных и пресных источников присутствует радон, который мигрирует в горных породах, хорошо растворяясь в природных водах. Радиогенный газ увлекается на значительные расстояния от места образования: в ряде случаев радон содержится в водах в количестве, во много раз превышающем локальное радиоактивное равновесие с растворенным в воде радием. (Взаимодействие двух факторов – воды и излучения, возникающего при распаде атомов радона – обеспечивает лечебный эффект радоновых вод.)

Долгое время считалось, что носителями радона в приповерхностные слои грунта и атмосферу являются все летучие газы почвенного воздуха и пары воды [24–26]. Однако эксперименты последних лет показали, что в качестве газов-носителей выступают только два из них – водород и метан [28–30]. Для иллюстрации проведем анализ данных полевых наблюдений радона почвенного воздуха и лабораторных измерений проб на содержание водорода, метана, двуокиси углерода и азота [24]. Концентрации азота и двуокиси углерода меняются в противофазе и охвачены жесткой корреляционной связью $k(N_2; CO_2) = (-0,99)$, при отсутствии корреляционной связи с метаном и водородом $|k(H; N_2, CO_2)| = 0,28; 0,29$. Коэффициент корреляции водорода и метана очень высок – $k(H; CH_4) = 0,96$; коэффициенты корреляции между концентрациями двух последних летучих газов с объемной активностью радона тоже достаточно велики: $k(Rn; H_2) = 0,84$, $k(Rn; CH_4) = 0,89$. Незначительный спад коэффициентов корреляции с объемной активностью радона имеет понятное физическое объяснение – точность лабораторного определения концентрации водорода и метана существенно выше точности полевых измерений объемной активности радона.

Отдельно следует оговорить возможность переноса радона парами воды. Влияние влаги на вариации содержания радона в грунте и атмосфере было отмечено достаточно

давно [27]. Наблюдаемое явление объяснялось тампонированием влагой порового пространства, что препятствовало воздухообмену в системе почва – атмосфера. Следствием тампонирования является накопление радона в приповерхностных слоях грунта в период дождей и интенсификация процесса эксхалляции в последующий 2–3-дневный период.

Предваряя дальнейшие рассуждения, рассмотрим еще один результат экспериментальных наблюдений. На рис. 3 представлены данные наблюдений вертикального тока проводимости (ВТП) $j(18.10) - j(21.10)$ за период 18–21 октября 1983 г. В качестве измерительного инструмента использовалась дифференциальная пассивная антенна (высота коллектирующих элементов 6–7 м относительно дневной поверхности) [21].

Измерения ставились в предгорьях Кавказа, в разломной зоне, над каменистым, пересохшим к осени руслом реки под г. Закаталы Азербайджанской ССР. Разломная зона и узкий каньон реки объясняют отрицательные фоновые значения тока 19–21 октября 1983 г.

В течение нескольких дней до начала измерений стояла прохладная погода и шли проливные дожди. Ночью 18 октября метеорологическая ситуация резко изменилась: ушла облачность, температура воздуха резко возросла, и к утру установилась ясная солнечная погода.

С 3:00 18 октября в связи с повышением температуры наблюдался рост регистрируемого сигнала, который достиг максимума около 8:30 – $j(18.10)$. Тот же максимум повторился 19 октября, но имел меньшую продолжительность и меньшие амплитуды – $j(19.10), j(20.10)$. На записи 21 октября максимума не видно совсем – $j(21.10)$.

Наблюдаемый результат является следствием испарения влаги, накопленной за период дождей. Резкое повышение температуры воздуха 18 октября стимулировало начало интенсивного испарения. Результатом этого стала мощная инъекция почвенного радона в атмосферу с увеличением полярной проводимости и сильным ростом АЭП за счет увеличения плотности нейтральных ядер конденсации в процессе испарения. На графике эти процессы видны в виде всплесков вертикального тока проводимости.

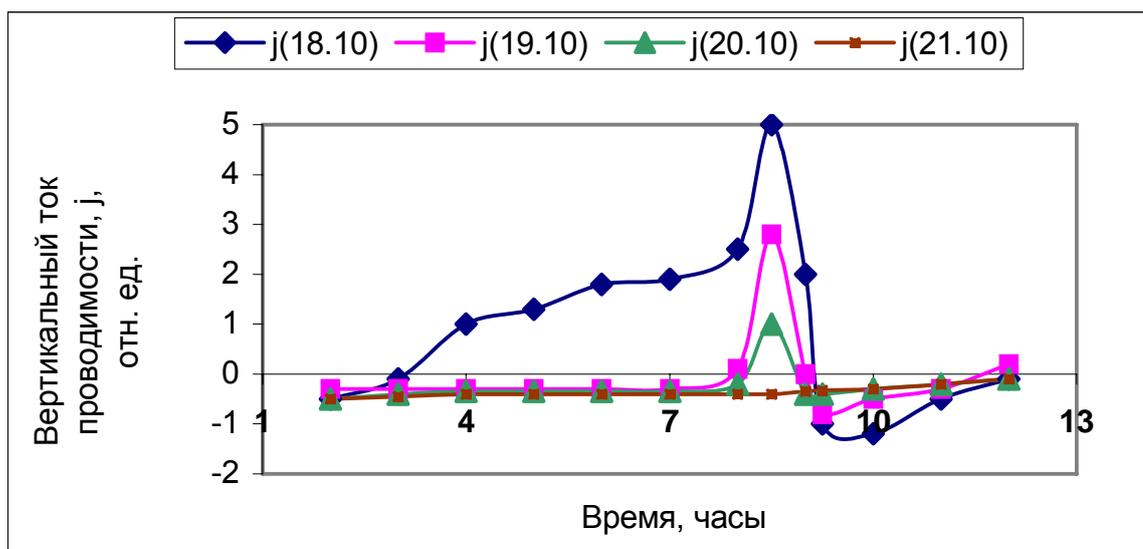


Рис. 3. Вариации ВТП приземной атмосферы за временной интервал 2.00–12.00 18–21 октября 1983 г. Результаты наблюдений под г. Закаталы, Азербайджан

Процесс испарения шел, в первую очередь, с поверхности каменистого пересохшего русла реки, что позволяет говорить о парах воды как о носителе радона в приповерхностную атмосферу. Это предположение дополнительно подтверждается еще и тем, что резкий рост ВТП наблюдается около 8 часов утра, на момент времени полного солнечного освещения дневной поверхности под коллектирующими элементами дифференциальной антенны. Последующий абсолютный максимум наступает через 20–30 минут – на середине времени жизни тяжелых ионов.

Резкие изменения параметров приземного атмосферного электричества достаточно часто наблюдаются в момент выпадения или высыхания росы [31]. Все это позволяет отнести пары воды к третьему носителю радона в атмосферу. Следовательно, участие паров воды в переносе радона из тонкого прогреваемого слоя грунта – эпизодическое явление, связанное с интенсивным солнечным прогревом влажной поверхности.

3. Вариации элементов приземного атмосферного электричества над газовыми скоплениями

Рассмотрим примеры вариаций АЭП над искусственными газовыми месторождениями – на территориях подземных газохранилищ (ПХГ). Работы в этом направлении проводились в 1999 и 2000 гг. на одном из старейших газохранилищ – Щелковском [30].

Как и в случае с гидроразрывом, закачка горючего газа в пласт-коллектор приводит к сжатию порового пространства приповерхностных слоев грунта. В результате имеет место избыточный сброс в атмосферу водорода и метана, пузырьковые образования которых увеличивают концентрацию эксхалирующего почвенного радона. Следствием этих процессов будет избыточная ионизация приземного воздуха, т. е. спад АЭП.

Результаты наблюдений подтвердили правильность сформулированных модельных положений. В 1999 и 2000 гг. зафиксирован высокий уровень повторяемости вариаций АЭП (рис. 4).

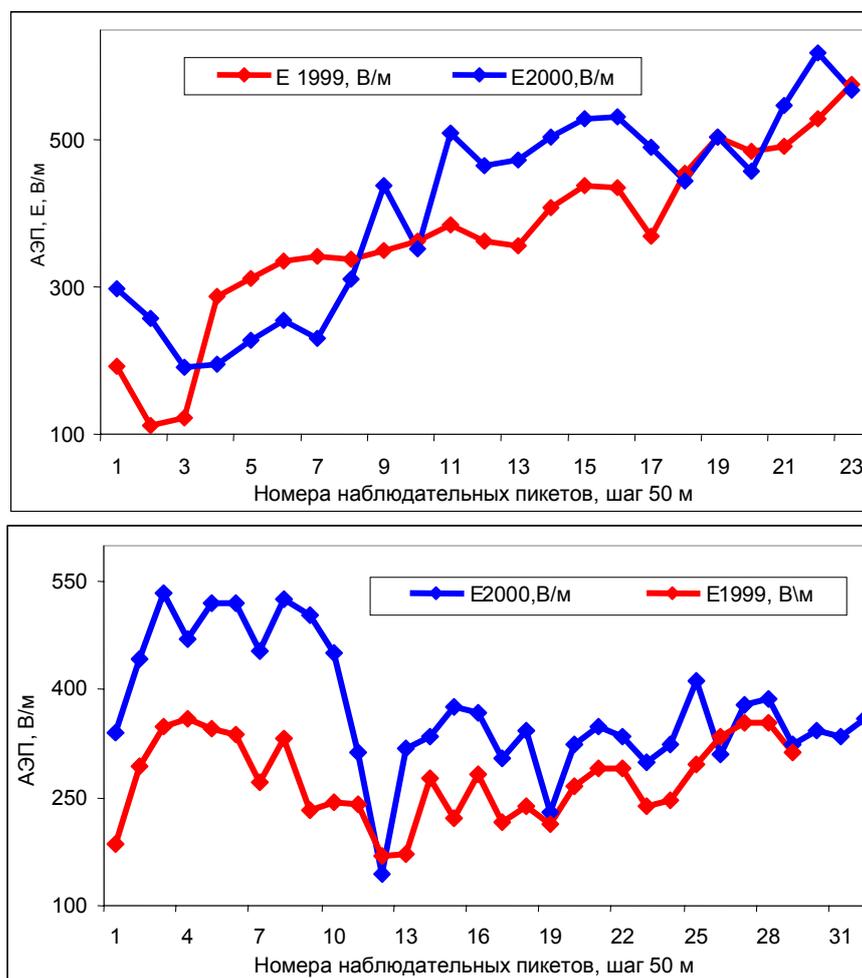


Рис. 4. Профильные вариации АЭП, зарегистрированные в 1999 и 2000 гг. на территории куста нагнетательных скважин Щелковского ПХГ

На графиках показаны наиболее контрастные вариации АЭП на двух профилях протяженностью 1,5 и 1,1 км. Низкие уровни поля соответствуют положению профиля над зоной закачки, высокие – выходу профиля на борт зоны закачки. Контролируемые

маршруты имеют одну общую точку: зарегистрированные значения поля на пикете 31 нижнего графика соответствуют полю на пикете 1 верхнего графика. Спад поля на пикетах 1 и 2 нижнего графика – экранный эффект громоотвода, установленного на территории газохранилища.

Измерения проводились в последних числах первой декады сентября 1999 и 2000 гг. Повторяемость результатов очень высокая – коэффициенты корреляции между данными профильных изменений лежат в пределах 0,7–0,9. Более того, даже абсолютные значения поля близки друг другу.

Всего на территории Щелковского ПХГ и за его пределами было заложено 11 профилей, на которых в 1999 и 2000 гг. ставились наблюдения АЭП. По данным измерений 1999 г., среднее АЭП над объемом закачки $E(1999)^{0.3} = 284$ В/м; среднее значение АЭП за пределами зоны закачки $E(1999) = 557$ В/м. Аналогичные расчеты, проведенные по результатам наблюдений 2000 г., показали средние значения АЭП $E(2000) = 599$ В/м вне зоны закачки и $E(2000)^{0.3} = 368$ В/м. Таким образом, в рассматриваемом случае только по перепадам значений АЭП над зоной закачки и над вмещающими породами можно по данным профильных наблюдений параметра оценить положение проекции пласта-коллектора на дневную поверхность.

Работы, начатые на Щелковском газохранилище, были продолжены в 2000 и 2003 гг. на территории Касимовского ПХГ. В отличие от вариаций поля на Щелковском ПХГ над контуром газохранилища под Касимовым не наблюдалось ярко выраженного провала АЭП. Тем не менее, если сравнить средние абсолютные значения поля над пластом-коллектором и за его пределами, о спаде АЭП говорить можно. Средние значения поля по трем профилям и их отрезкам над объемом закачки – 138, 136 и 140 В/м. Средние значения поля вне зоны закачки – 184 и 240 В/м.

Особый интерес представляют результаты сравнения вариаций поля, зарегистрированных на Касимовском ПХГ на профиле 2 в 2000 и 2003 гг. (рис. 5). Абсолютные значения поля в 2000 г. практически в два раза выше, чем в 2003 г. (для удобства сравнения вариаций поля они представлены на рис. 5 по двум шкалам).

Наблюдения 2000 г. проводились в сентябре месяце, после завершения цикла закачки, когда деформационные процессы истощили содержание радона в приповерхностных слоях грунта, что привело к дефициту ионизатора в атмосфере и высоким значениям поля. В 2003 г. наблюдения проводились в середине цикла закачки,

когда воздухообмен в системе почва – атмосфера был интенсифицирован сжатием приповерхностного порового пространства. Это привело к избыточной эксхалации почвенного радона.

Коэффициент корреляции по всему массиву данных наблюдений на профиле 2 в 2000 и 2003 гг. не значим: $k = 0,14$. Однако, если разбить данные измерений на две части по пикетам 1–3, 22–31 и 4–21, то коэффициенты корреляции становятся значимыми величинами: $k(1–3, 22–31) = 0,82$ и $k(4–21) = 0,51$.

Если сравнить вариации поля по линии пикетов 4–21, то явный всплеск АЭП 2000 г. сменяется в 2003 г. провалом. Причина наблюдаемых отличий заключается в активных деформационных процессах, связанных с распространением закачиваемого газа по пласту-коллектору под средней частью наблюдательного профиля.

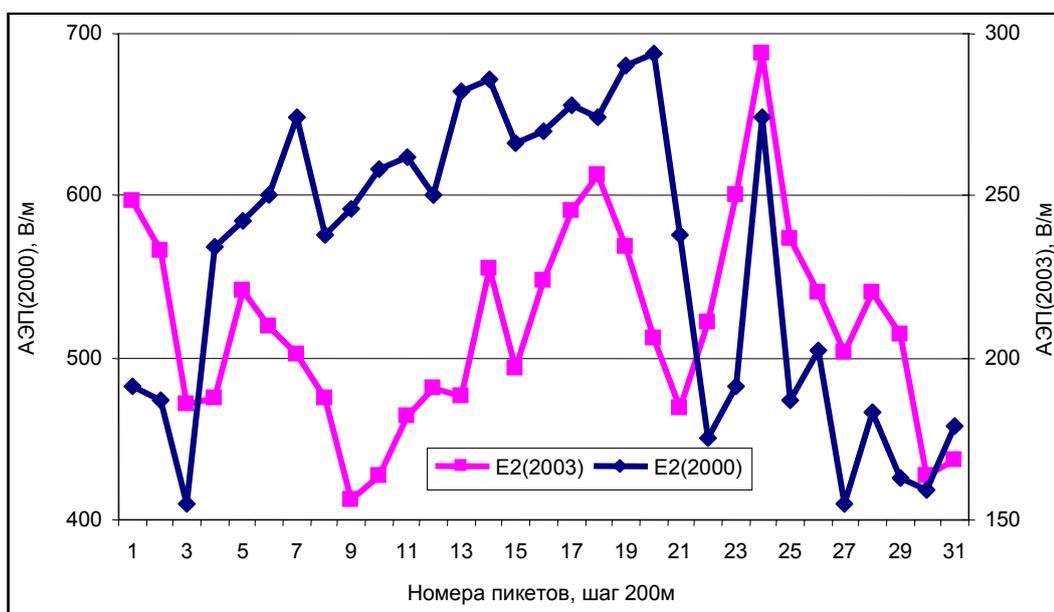


Рис. 5. Профильные вариации АЭП, зарегистрированные в 2000 и 2003 гг. на траверсе куста нагнетательных скважин (профиль 2)

Продолжим рассмотрение результатов профильных наблюдений атмосферного электрического поля на примере данных полевых работ, выполненных в 2003, 2006 и 2007 гг. на территории Северо-Ставропольского ПХГ. Здесь в качестве буферного резервуара используется пласт-коллектор Северо-Ставропольского месторождения, выработанного к концу XX века.

В отличие от результатов, полученных на Щелковском и Касимовском ПХГ, заметных изменений АЭП на территории Северо-Ставропольского ПХГ и за его пределами

замечено не было. Основные изменения поля были зарегистрированы исключительно во время работ на заэкранированных участках профилей – в непосредственной близости от линий электропередач, построек, посадок.

В юго-западном секторе Северо-Ставропольского ПХГ один из наблюдательных профилей выходит за границы горного отвода ПХГ [30]. Здесь на площади, идеально подходящей для наблюдений АЭП (чистое поле, ближайшие посадки на расстоянии ~ 100 м от линии профиля), отмечается спад поля (рис. 6).

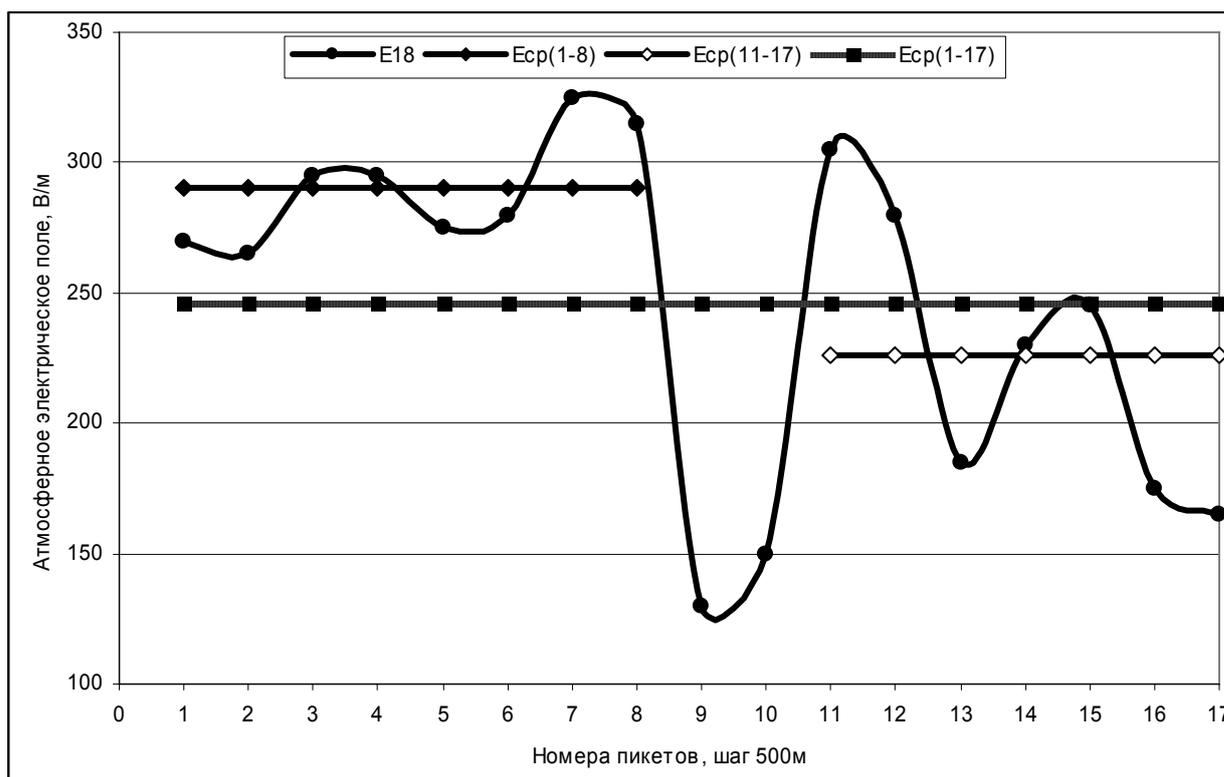


Рис. 6. Измеренные и усредненные значения АЭП на профиле, выходящем за пределы пласта-коллектора Северо-Ставропольского ПХГ (бывшего Северо-Ставропольского месторождения)

Помимо измеренных значений поля на рис. 6 представлены средние значения АЭП в зоне проекции пласта-коллектора на дневную поверхность – пикеты 1–7 (3,5 км), и за ее пределами – пикеты 11–17 (3,0 км). Средние значения поля вне зоны проекции пласта-коллектора на дневную поверхность на $\Delta E = 61$ В/м ниже. Результаты измерений свидетельствуют о том, что над покрывной областью бывшего Северо-Ставропольского месторождения поле заметно выше, чем за ее пределами.

Следует добавить, что помимо АЭП на 500 пикетах на территории Северо-Ставропольского ПХГ наблюдались полярные проводимости атмосферного воздуха –

первичный продукт ионизации эксхалирующим почвенным радоном; в грубом приближении – обратная величина поля. Зарегистрированные значения полярных проводимостей на пикетах 11–17 профиля оказались самыми высокими по сравнению с остальными величинами, полученными на 500 опрошенных пикетах.

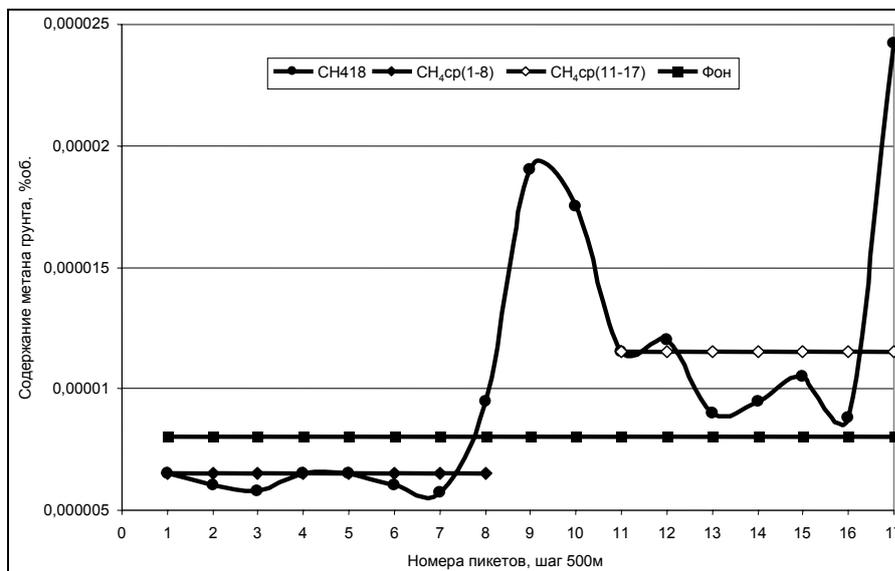


Рис. 7. Содержание метана в грунте над покрывной областью (пикеты 1–8) и за ее пределами (пикеты 11–17), среднепланетарный фоновый уровень метана $0,8 \cdot 10^{-4} \%об$

Для удобства сравнения результата с остальными материалами на рис. 7 приведены расчетные данные по содержанию метана в грунте на рассматриваемом профиле. Расчеты выполнены по разработанной методике оценки содержания метана в грунте по данным наблюдений радона и водорода в грунте и атмосфере, полярных проводимостей и АЭП [30]. Как и следовало ожидать, среднее содержание метана в грунте над покрывной областью ниже среднего мирового фонового уровня, за пределами области – выше; отношение средних значений $CH_4(11-17) / CH_4(1-8) = 1,9$.

4. Метан, водород и атмосферное электрическое поле над нефтяным месторождением

На поле концентрации метана в приповерхностных слоях грунта и в приземной атмосфере в пределах конкретных месторождений влияет нефтеносность недр. Определяющими факторами здесь становятся тектоническое строение, структура и режим

эксплуатации залежи. На нефтеносных структурах Бухаро-Чарджоуской тектонической ступени концентрация CH_4 в 1,5–2 раза выше среднепланетарной $0,8 \cdot 10^{-4} \% \text{об}$ [32]. То же наблюдается в пределах Осташковического нефтяного месторождения в Припятском прогибе [33].

В августе 1997 г. в районе Александровского нефтяного месторождения и Александровского разлома (Гомельская область, Белоруссия) проводились наблюдения водорода, радона почвенного воздуха и АЭП [25]. Результаты наблюдений представлены на рис. 8.

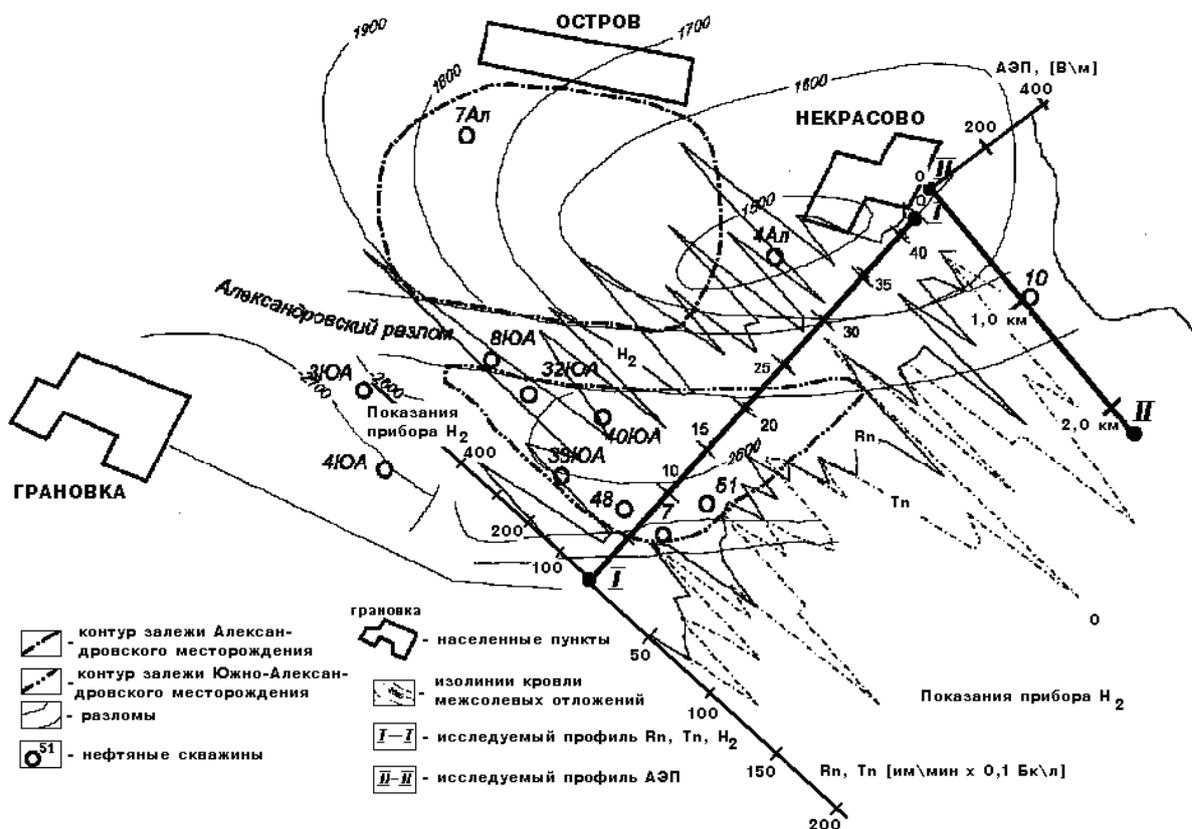


Рис. 8. План и результаты наблюдений радона, водорода и АЭП в районе Александровского нефтяного месторождения

Максимальное содержание водорода наблюдается в пределах контуров нефтеносности и выходов на поверхность Александровского разлома. К сожалению, из-за экранного эффекта леса измерения АЭП на площадях Александровского и Южно-Александровского месторождений поставить не удалось.

Открытая местность была только в зоне Александровского разлома, где, как и следовало ожидать, был зарегистрирован провал поля.

Близкий результат – но уже по метану – удалось наблюдать во время работ на Осташковическом нефтяном месторождении в Белорусском Полесье [33] (рис. 9).

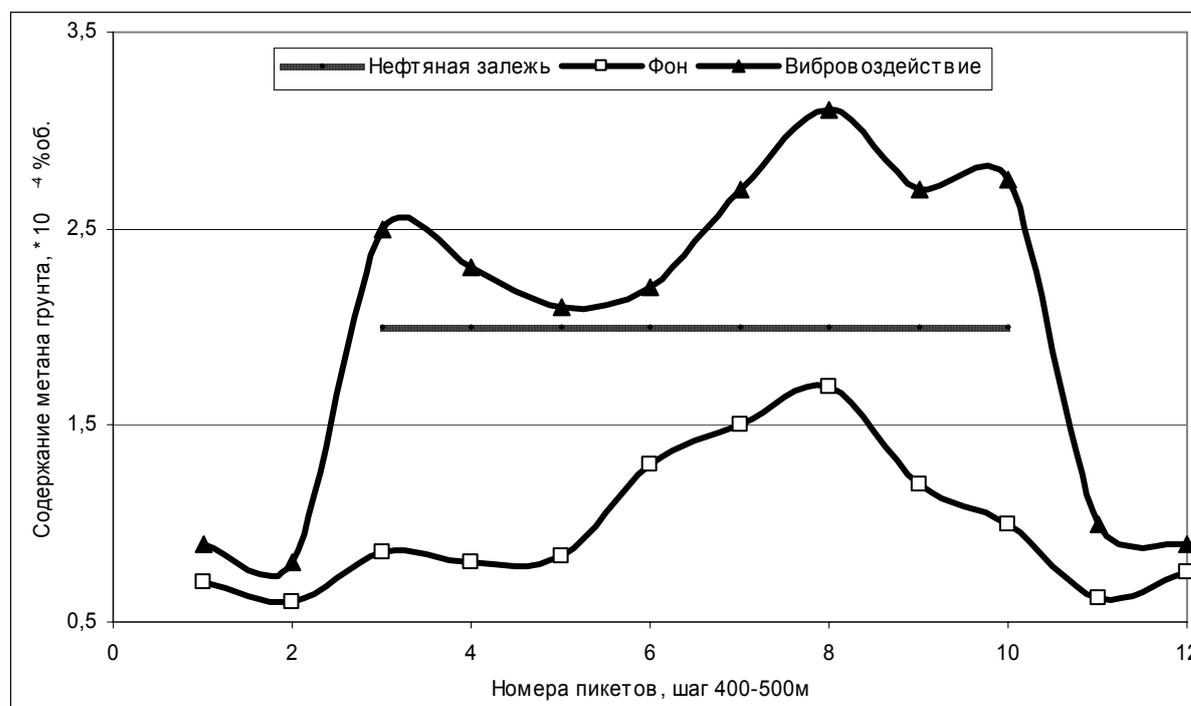


Рис. 9. Изменение концентраций метана по профилю через нефтяную залежь по данным фоновых измерений и сейсмического воздействия [33]

Одновременно с пассивной метановой съемкой в работах использовался сейсморазведочный вибратор СВ-20/60, работающий в режиме монохроматического излучения на частоте 20 Гц сериями длительностью 5 минут каждая. Профиль общей протяженностью 6 км был проложен в крест с нефтяным пластом, залегающим на глубине 3,2 км. На каждом наблюдательном пикете на расстоянии 10 м друг от друга закладывались две наблюдательные скважины глубиной до 2 м: из одной (фоновой) образец газа извлекался до работы вибратора; из другой – после вибровоздействия на среду. Отношение среднего содержания метана над залежью к среднему содержанию вне залежи при фоновом режиме отбора проб составило 1,4; после вибросейсмического воздействия – 2,0.

В приведенных примерах даны результаты полевых наблюдений вариаций водорода и метана в приповерхностных слоях грунта в шлейфах нефтяных

месторождений. Для иллюстрации реакции АЭП на эти изменения на рис. 10 представлена запись вариаций поля над нефтяной залежью.

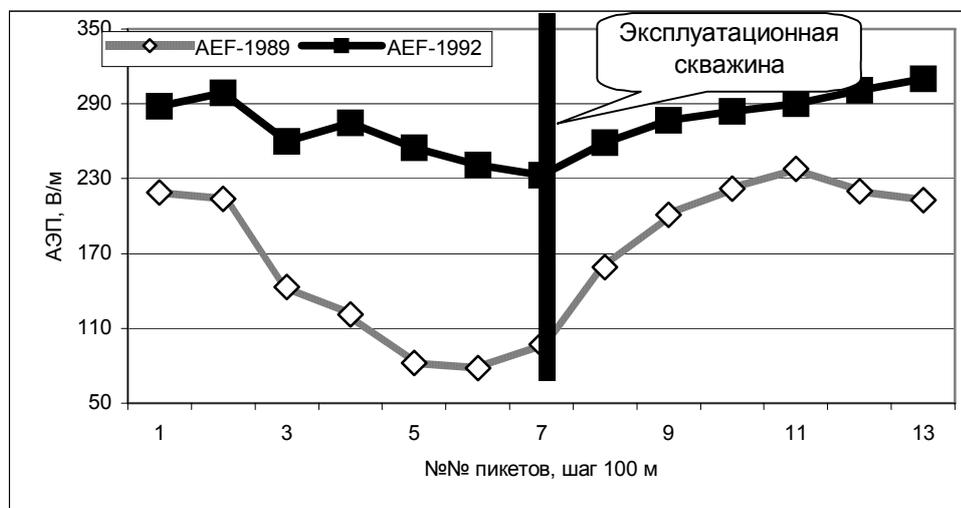


Рис. 10. Вариации АЭП над нефтяной залежью

Первая серия наблюдений ставилась в 1989 г., на момент пуска скважины в эксплуатацию; вторая – в 1992 г., после трех лет эксплуатации [21]. Измерения выполнялись на площади 3-го Речицкого нефтепромысла (Белоруссия). Как и следовало ожидать, спад поля над залежью существенно уменьшился – вследствие снижения внутрислоевого давления в процессе эксплуатации, заводнения пласта и снижения содержания летучих газов в шлейфе. Следует обратить особое внимание на рост поля на уровне пикетов 2–4. Полученный результат позволяет говорить о тенденции отсечения области пласта под пикетом 3 от основной залежи.

Заключение

Радоновый механизм генерации объемного заряда приземного воздуха и перенос радона в атмосферу пузырьковыми образованиями водорода и метана определяют связь атмосферного электрического поля со шлейфами УВ-скоплений. Территории искусственных газовых месторождений – ПХГ – характеризуются повышенным газообменом в системе почва – атмосфера, что приводит к спаду атмосферного электрического поля над проекцией пласта-коллектора на дневную поверхность. Наиболее

контрастно это проявляется в циклах закачки горючего газа – как следствие деформаций порового пространства приповерхностных слоев грунта.

На площадях газовых месторождений наблюдается обратный результат – абсолютные величины атмосферного электрического поля здесь выше, чем над вмещающими породами. Содержание метана в грунте над залежью ниже среднепланетарного уровня $0,8 \cdot 10^{-4}$ %об.

Анализ материалов полевых работ позволяет сделать вывод о том, что содержание водорода и метана в приповерхностных слоях грунта над нефтяным месторождением выше, чем над вмещающими породами. Это в свою очередь неизбежно приводит к спаду атмосферного электрического поля. Контрастность эффектов может быть увеличена благодаря использованию вибросейсмического возбуждения при производстве измерений. Сформулированные предположения подтверждаются результатами экспериментальных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чернявский Е.А.* Электрическая буря // Бюл. САГУ. 1925. № 10. С. 157–162.
2. *Чернявский Е.А.* Атмосферно-электрические и электротеллурические явления при землетрясениях // Соц. наука и техника. 1935. № 12.
3. *Чернявский Е.А.* Атмосферно-электрические предвестники землетрясений // Метеорология и гидрология в Узбекистане. Ташкент, 1955. С. 317–327.
4. *Бончковский В.Ф.* Землетрясения и методы их изучения. // М.: Изд-во АН СССР. 1949. 88 с.
5. *Бончковский В.Ф.* Измерения градиента электрического потенциала в атмосфере как один из возможных предвестников землетрясений // Тр. Геофиз. ин-та. 1954. №25(125). С. 192–206.
6. *Сидорин А.Я.* О возмущениях градиента электрического потенциала атмосферы на Гармском полигоне в 1949–1950 гг. // Электрическое взаимодействие геосферных оболочек. М., 2000. С. 148–165.
7. Электромагнитные предвестники землетрясений / под ред. М.А. Садовского. М.: Наука, 1982. 88 с.

8. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений / под ред. М.Б. Гохберга. М.: Изд-во ИФЗ АН СССР, 1988. 243 с.
9. *Тверской П.Н.* Курс метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1951. 887 с.
10. *Чалмерс Дж.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 247 с.
11. *Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М.* Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: ТРТУ, 1998. 122 с.
12. *Куповых Г.В.* Электродный эффект в приземном слое атмосферы: Автореф. дис... докт. физ.-мат. наук. Нальчик, 2005. 35 с.
13. *Махоткин Л.Г.* Годовые вариации градиента потенциала и глобальные годовые вариации площадей снежного покрова // Тр. ГГО им. А.И. Воейкова. 1980. Вып. 401. С. 94–97.
14. *Махоткин Л.Г.* Значение результатов наземных наблюдений за градиентом потенциала электрического поля // Тр. ГГО им. А.И. Воейкова. 1982. Вып. 455. С. 106–109.
15. *Ерышев А.П., Николаев А.В., Урдуханов Р.И., Шулейкин В.Н.* Результаты атмосферно-электрических и сейсмических наблюдений над железнорудным месторождением: Препр. № 5 ИФЗ АН СССР. М., 1987. 11 с.
16. *Nicolayev A.V., Urduchanov R.I., Shuleykin V.N.* Results of atmospheric electricity and seismic profiling of ore-body // Proc. 8th Int. Conf. Atm. El. Uppsala, 1988. P. 138–140.
17. *Шулейкин В.Н.* Оконтуривание зоны рудного тела по пространственным вариациям АЭП // Тр. IV Всесоюз. симпоз. по атмосферному электричеству. Нальчик, 1990. С. 60–61.
18. *Шулейкин В.Н.* О корреляции динамики элементов приземного атмосферного электричества и водоносных пластов // Тр. IV Всесоюз. симпоз. по атмосферному электричеству. Нальчик, 1990. С. 30–31.
19. *Шулейкин В.Н.* Результаты наблюдений приземного атмосферного электричества над областью искусственных гидрогеологических процессов // Тез. III семинара «Нетрадиционные методы изучения неоднородностей земной коры». М., 1993. С. 88–89.
20. *Шулейкин В.Н., Шубик Б.М., Барабанов В.Л.* Физико-технические проблемы геофизики нефти и газа. М.: ООО «ФЭД», 2005. 198 с.
21. *Шулейкин В.Н.* Атмосферное электричество и физика Земли. М.: ООО «ФЭД», 2006. 159 с.

22. *Купцов А.В., Марапулец Ю.В., Мищенко М.А., Руленко О.П., Шевцов Б.М., Щербина А.О.* О связи высокочастотной акустической эмиссии с электрическим полем в приземном слое атмосферы // *Вулканология и сейсмология*. 2007. № 5. С. 71–76.
23. *Баранов В.И.* Радиометрия. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 343 с.
24. *Войтов Г.И., Рудаков В.П., Шулейкин В.Н., Козлова Н.С., Баранова Л.В.* Эманационные и электрические эффекты в атмосфере подпочв над Калужской кольцевой структурой // *Рос. журн. наук о Земле*. 1999. Т. 1, № 6. С. 503–510.
25. *Войтов Г.И., Гусев А.С., Шулейкин В.Н.* и др. Эманационные (водород-радоновые) и электрические эффекты над сложно построенными тектоническими структурами (на примере Александровской зоны предразломных поднятий, Белоруссия) // *ДАН РАН*. 2000. Т. 370, № 1. С. 105–108.
26. *Гергедава Ш.К., Бузинов С.Н., Шулейкин В.Н., Войтов Г.И.* Нетрадиционная геофизика для подземных хранилищ газа // *Нефть, газ и бизнес*. 2001. № 5(43). С. 2–7.
27. *Стыро Б.И.* Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс: Изд-во АН ЛитССР, 1959. 418 с.
28. *Шулейкин В.Н.* Косвенный контроль концентрации метана над углеводородными скоплениями – методика, метрология // *Тр. Междунар. конф. «Фундаментальные проблемы нефтегазоносной гидрологии»*. М., 2005. С. 551–555.
29. *Шулейкин В.Н.* Результаты косвенного контроля метана на территориях ПХГ // Там же. С. 555–559.
30. *Зубарев А.П., Шулейкин В.Н.* Комплексный геофизический и геохимический контроль при эксплуатации подземных газохранилищ. М.: Изд-во «Газпром ПХГ», 2009. 264 с.
31. *Шулейкин В.Н., Зиновьев В.В., Варягов С.А., Марков В.А., Никулин Д.А.* Оценка напряженного состояния оползня по результатам нетрадиционных геофизических наблюдений // *Технологии ТЭК*. 2005. № 6. С. 56–60.
32. *Войтов Г.И., Старобинец И.С., Усманов Р.И.* О плотности потоков CH_4 в атмосферу в нефтегазоносных регионах (на примере Аму-Дарьинской впадины) // *ДАН СССР*. 1990. Т. 313, № 6. С. 1444–1448.
33. *Аммосов С.М., Войтов Г.И., Коробейник Г.С., Кузнецов В.В., Николаев А.В., Федорова Г.С.* О двух типах газовогеохимических эффектов в поле вибрационного источника сейсмических колебаний // *ДАН СССР*. 1988. Т. 301, № 1. С. 62–66.