

12 - Геофизика: земная кора, океан, атмосфера

Ефимова Милана Владимировна, 3 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Поиск гидродинамической связи между скважинами методами многопараметрической линейной регрессии и емкостно-резистивной модели

Питюк Юлия Айратовна, к.ф.-м.н.

e-mail: efimova.milana01@gmail.com стр. 98

Корытников Антон Александрович, магистрант 2 года обучения

Октябрьский, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Влияние положения автономных приборов в скважине на показания нейтронных методов

Антон Александрович Корытников, к.г.-м.н.

e-mail: anton.korytnikovv@gmail.com стр. 99

Матыцина Анастасия Романовна, 2 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Экспедиционные исследования плотности тока механического переноса на границе атмосфера-земля

Панчишкина Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.

e-mail: georgpu@rambler.ru стр. 101

Тимошенко Геннадий Геннадьевич, 2 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Объемная активность радона-222 в приземной атмосфере и почвенном газе по результатам экспедиционных измерений

Петрова Галина Григорьевна, к.ф.-м.н.

e-mail: georgpu@rambler.ru стр. 103

Поиск гидродинамической связи между скважинами методами многопараметрической линейной регрессии и емкостно-резистивной модели

Ефимова Милана Владимировна²

Фахреева Регина Рафисовна^{1,2}

¹ООО «РН-БашНИПИнефть», ²Башкирский государственный университет

Путьок Юлия Айратовна, к.ф.-м.н.

efimova.milana01@gmail.com

На сегодняшний день актуальными остаются проблемы поиска источников обводнения, подбора оптимального режима работы скважин и автоматизации рутинных работ по поиску гидродинамической связи между скважинами. Анализ взаимовлияния скважин является одним из способов получения информации о межскважинном пространстве, а именно о состоянии коллектора, степени его неоднородности, наличии трещин и разломов.

Для установления взаимовлияния между скважинами имеются технологические методы, к которым относятся закачка трассеров, гидропрослушивание, индикаторные диаграммы. Также, математические и численные методы. Однако, особое внимание уделяется численным способам оценки взаимовлияния скважин, которые в отличии от технологических не требуют геологических и гидродинамических моделей. В результате литературного обзора мы выбрали два метода: метод многопараметрической линейной регрессии (MLR) [1] и емкостно-резистивная модель (CRMIP) [2]. Данные методы были выбраны в силу своей простоты и не привязанности к параметрам пласта. Метод MLR основан на корреляционном подходе (1) и используется для определения корреляции между динамическими данными эксплуатации нагнетательных и добывающих скважин.

$$\hat{\Phi}_j(t) = \beta_{0j} + \sum_{i=1}^{N_i} \beta_{ij} \Phi_i(t), \quad (1)$$

где $\hat{\Phi}_j$ – давление/дебит на j -ой реагирующей скважине, Φ_i – давление/приемистость на i -ой возмущающей скважине, β_{ij} – весовые коэффициенты, представляющие вероятностную оценку влияния возмущающих скважин на реагирующую, β_{0j} – свободный член, t – время, N_i – число возмущающих скважин.

Метод CRMIP основан на уравнении материального баланса (2) и подразумевает анализ приемистости, дебита и забойного давления добывающей скважины.

$$\tau_{ij} \frac{dq_{ij}(t)}{dt} + q_{ij}(t) = f_{ij} w_i(t) - \tau_{ij} J_{ij} \frac{dp_j(t)}{dt}, \quad (2)$$

где $w_i(t)$ – расход i -ой возмущающей скважины; $p_j(t)$ – давление на забое j -ой реагирующей скважины; $q_{ij}(t)$ – вклад в дебит j -ой реагирующей скважины от i -ой возмущающей. На основе этих данных и решения задачи оптимизации определяются коэффициенты взаимовлияния скважин f_{ij} , определяющие объемную долю закачанной воды, которая движется к добывающей скважине, временной параметр τ_{ij} и коэффициенты продуктивности J_{ij} .

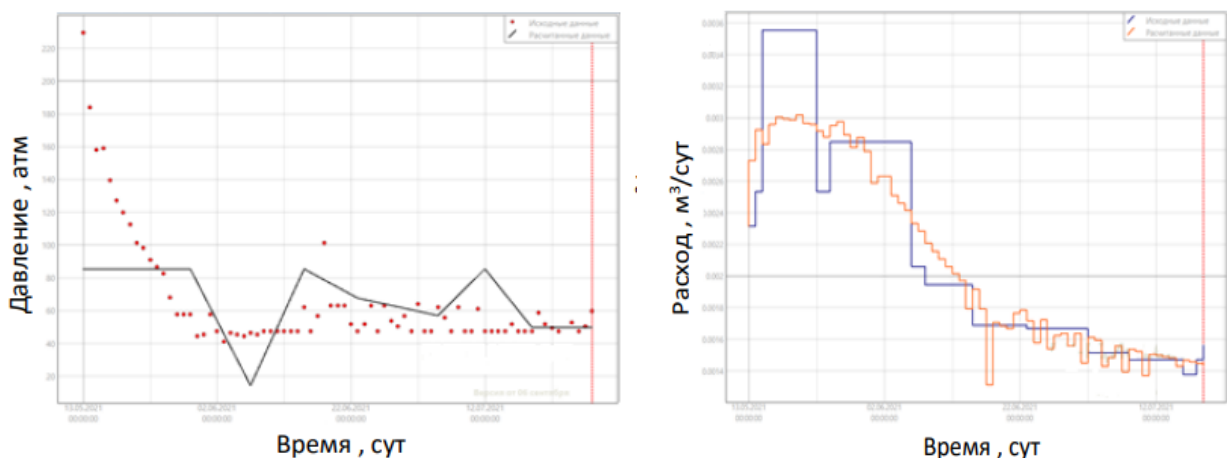
Методы MLR и CRMIP были протестированы на синтетических данных [3]. В данной работе методы были применены для оценки взаимовлияния скважин нефтяного месторождения А. Для проведения анализа взаимовлияния использовались данные добывающих скважин ХХ03, ХХ04, ХХ07, ХХ32, ХХ003 и нагнетательной скважины УУ31. Для каждой пары добывающая-нагнетательная скважины получены коэффициенты взаимовлияния (табл.1) и графики зависимостей давлений и дебита в добывающих скважинах. На основе полученных коэффициентов выявлено наличие или отсутствие взаимовлияния между парами скважин. В результате методы MLR и метод CRMIP обнаружили взаимовлияние между скважинами ХХ03 и УУ31. На рис.1 представлены результаты применения методов для данной пары скважин. Совместный анализ всех целевых скважин методом CRMIP также показал наличие связи между парой скважин ХХ03 и УУ31.

Можно заметить, что график рассчитанных показателей коррелирует с графиком исходных данных в обоих случаях. Полученные результаты хорошо согласуются с экспертной оценкой.

Таким образом, применение методов MLR и CRMIP на основе вычисленных коэффициентов позволило обнаружить гидродинамическую связь между скважинами ХХ03 и УУ31 на рассматриваемом участке месторождения.

	MLR		CRMIP			
			Попарный	Совместный		
	Нагнетательные скважины					
Добывающие скважины		YY31(Q)	YY31(P)	YY31	YY31	
	XX03(P)	0,502	-0,330	XX03	0,632	0,387
	XX03(Q)	0,466	-0,241			
	XX04(P)	0,465	0,420	XX04	0,107	0,107
	XX04(Q)	0,037	-0,096			
	XX07(P)	0,228	0,246	XX07	0,522	0,148
	XX07(Q)	-0,550	-0,652			
	XX32(P)	0,356	0,459	XX32	0,281	0,247
	XX32(Q)	-0,145	-0,122			
	X003(Q)	-0,399	-0,452	X003	0,203	0,130
X003(P)	-0,716	-0,807				

табл.1. Матрица коэффициентов взаимовлияния.



а) Сравнение динамики давления на реагирующей скважине XX03. Черная кривая – рассчитанные данные, красная – исходные данные

б) Сравнение динамики дебита на реагирующей скважине XX03. Оранжевая кривая – рассчитанные данные, синяя кривая – исходные данные

рис.1. Результат применения метода MLR (а) и CRMIP (б) для пары скважин XX03 и YY31.

Список публикаций:

- [1] Dinh A. and Tiab D., 2008. Inferring interwell connectivity from well bottomhole-pressure fluctuations in waterfloods. *SPE Reservoir Evaluation and Engineering*: 847-881, SPE 106881.
- [2] Holanda, R. W. d., 2015. Capacitance Resistance Model in a Control Systems Framework: a Tool for Describing and Controlling Waterflooding Reservoirs. Master's thesis, Texas A&M University, College Station, Texas, USA: 156.
- [3] Бухмастова С.В., Фахреева Р.Р., Путьок Ю.А., Давлетбаев А.Я., Азарова Т.П., Фаргер Д.В., Якунов Р.Ф. Апробация методов MLR и CRMIP при исследовании взаимовлияния скважин // *Нефтяное хозяйство*. – №1162. – 2020. – стр. 58-62.

Влияние положения автономных приборов в скважине на показания нейтронных методов

Корытников Антон Александрович
 Башкирский государственный университет
 Зараменских Николай Михайлович, к.г.-м.н.
anton.korytnikov@gmail.com

В процессе каротажа «на трубах» с помощью автономных модулей нет прямой связи с прибором, невозможно контролировать положение прибора в скважине. В последствии при отрыве прибора от стенки скважины увеличивается погрешность измерений. Увеличение погрешности заключается в том, что из-за

влияния скважинного флюида малый зонд прибора дает завышенные показания, по которым считают значения пористости и водородосодержания. Происходит завышение показаний из-за влияния прослойки скважинного флюида между прибором и стенкой скважины.

Для уменьшения погрешности показаний прибора в скважине был разработан алгоритм, с помощью которого вводится поправка.

$$F(K_p) = \frac{MЗ}{БЗ} * \frac{БЗв}{МЗв} = \alpha \quad (1)$$

$$F(K_p)_{нов.} = \alpha - \frac{МЗв}{МЗ} * tg_{ср} \quad (2)$$

Где: K_p - коэффициент пористости, МЗ- малый зонд, БЗ- большой зонд, МЗв и БЗв- показания малого и большого зонда в воде.

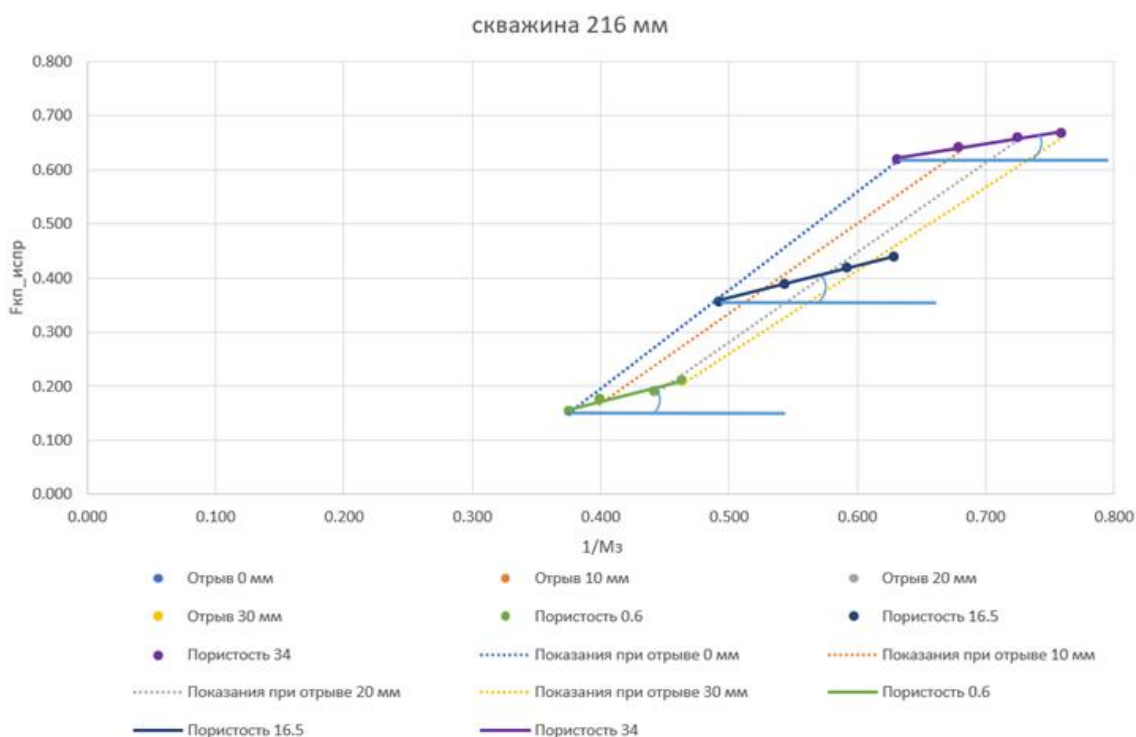


рис.1. Показания автономного прибора ННК с отрывами

Рисунок демонстрирует показания автономного прибора ННК в скважине с диаметром 216 миллиметров с отрывом от стенки скважины (0, 10, 20, 30мм). Зеленая линия на рисунке объединяет показания прибора напротив пласта с K_p 0.6 с отрывами 0, 10, 20, 30мм. Аналогично синяя и сиреневая линии объединяют показания при K_p 16.5 и 34. Пунктирные линии объединяют показания при одном из отрывов с разными K_p (например серая пунктирная линия объединяет показания K_p 0.6, 16.5, 34 при отрыве 20мм).

На рисунке также демонстрируются углы отклонения, по которым берутся тангенсы (голубые горизонтальные линии показывают отклонение показаний прибора при отрыве 10, 20, 30мм от эталонных при отрыве 0мм).

Рисунок демонстрирует данные пористости полученные разными методами:

- стандартная обработка КИП – синий цвет;
- обработка с помощью алгоритма – зеленый цвет;
- обработка с учетом минерализации – красный цвет;
- исследования керна с трех глубин – черный цвет.

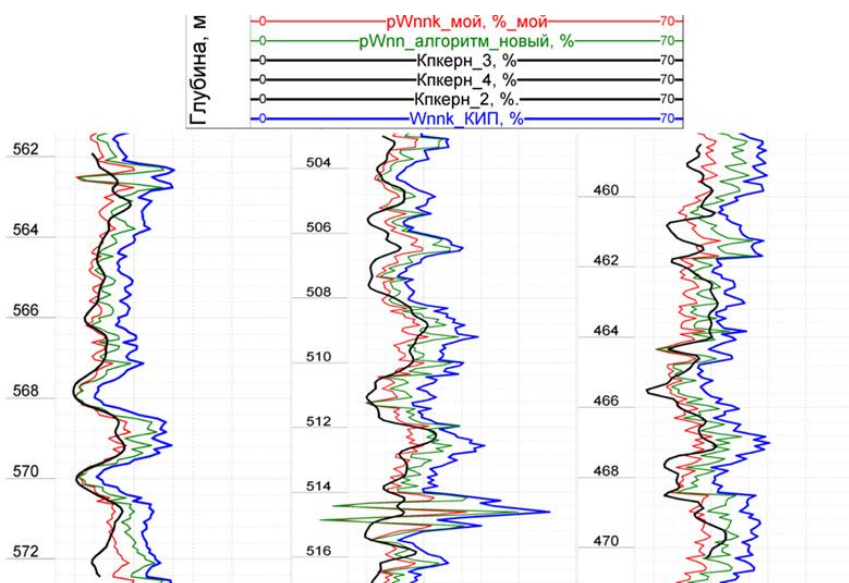


рис.2. Результат работы алгоритма в сравнении

Работа алгоритма показывает результат, который приближен к данным, полученным из керна.

Список публикаций:

- [1] Балапанов М. Х., Куватов З.Х., Корытников А.А // *The dielectric constant of the mixture is compensated cholesteric liquid crystals* // *Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники. г.2018, С. 237.*
- [2] Корытников А.А. // *Использование СНГК в нефтяных и газовых скважинах с целью улучшения качества скважинного материала* // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2021» // Тезисы докладов XII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию профессора БашГУ Фарзтдинова Миркашира Минигалиевича (г. Уфа, 6 – 9 октября 2021 г.)*
- [3] Корытников А.А., Кашапов А.И. // *Спектрометрия в нефтегазовых скважинах на примере SGK и СНГК* // *VI всероссийская молодежная научно- практическая конференция // Уфа, г.2021*

Экспедиционные исследования плотности тока механического переноса на границе атмосфера-земля

Матыцина Анастасия Романовна

Тимошенко Геннадий Геннадьевич

Южный федеральный университет

Панчишкина Ирина Николаевна, к. ф. -м.н.

georgpu@rambler.ru

Выявление связей между атмосферно-электрическими величинами и другими физическими характеристиками в приземном слое атмосферы является сложной комплексной задачей. Учет метеорологических условий и аэрозольного состояния атмосферного воздуха при анализе экспериментальных данных, может служить источником важной дополнительной информации, способствующей более глубокому пониманию физических процессов в электродном слое атмосферы. Сложная совокупность метеорологических параметров и их значительная пространственно-временная изменчивость определяет многообразие сочетаний метеорологических условий в каждом пункте наблюдений.

В настоящей работе рассматриваются особенности переноса заряда под действием механических сил на границе атмосфера-земля на основе результатов экспериментальных исследований, полученных в летние месяцы в Ростовской области, на берегу оз. Байкал и в условиях высокогорья на плато Шаджатмаз (2100 м). В качестве исходных массивов выбраны ряды среднечасовых значений плотности тока механического переноса из атмосферы на землю и метеорологических характеристик в прилежащем к земле двухметровом слое.

Механический перенос заряда в приземной атмосфере осуществляется благодаря двум основным механизмам: конвекции и диффузии, поэтому плотность тока механического переноса в атмосфере вблизи поверхности земли $j_{мп}$ состоит из диффузионной и конвективной составляющей:

$$j_{мп} = -D \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho v, \quad (1)$$

где ρ – плотность объемного заряда, v – скорость вертикальных конвективных потоков $\frac{\partial \rho}{\partial z}$ – вертикальная составляющая градиента плотности объемного заряда, D – коэффициент диффузии, который равен сумме коэффициентов турбулентной D_T и молекулярной D_M диффузии $D = D_T + D_M$.

Вследствие того, что на границе атмосферы и земной поверхности скорость вертикальных потоков обращается в ноль, а многие физические параметры изменяются скачком, плотность тока механического переноса не представляется возможным описать аналитически. Можно лишь предположить, что перенос заряда из атмосферы на землю под действием механических сил обусловлен, в основном, диффузионными процессами, а плотность тока механического переноса атмосфера-земля $i_{мп}$ зависит от свойств и динамики приземного атмосферного слоя $i_{мп} = f(\rho, v, D)$. Средние за период значения плотности тока механического переноса из атмосферы на землю для разных пунктов наблюдений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Описательная статистика массивов плотность тока механического переноса атмосфера-земля для разных пунктов наблюдений

	Пункты наблюдений	Среднее значение, $\mu\text{A}/\text{m}^2$	Стандартное отклонение, $\mu\text{A}/\text{m}^2$	Коэффициент вариации, %	Число часовых серий
Ростовская область	Ростов-на-Дону	-0,30	0,40	133	175
	Первомайское	-0,38	0,50	132	136
	Михайловка	-0,42	0,80	190	854
	Цимлянск	-0,29	0,98	337	37
берег оз. Байкал	Б. Коты	0,52	0,25	48	158
Карачаево-Черкесия	Плато Шаджатмаз	1,08	2,99	277	62

Обращает на себя внимание тот факт, что во всех пунктах Ростовской области средние за период измерений значения плотности тока механического переноса из атмосферы на землю отрицательны. А на плато Шаджатмаз и в поселке Б.Коты, расположенном на берегу озера Байкал ток механического переноса в среднем принесил на земную поверхность положительный заряд. Знак заряда, поступающего на поверхность земли зависит от того какого знака объемный заряд находится в атмосфере и от того как изменится плотность объемного заряда с высотой (1). Объемный заряд в атмосфере образуют ионы всех подвижностей за счет разности концентраций носителей зарядов разных полярностей, однако плотность объемного заряда аэрозоля, появившегося вследствие адсорбции на нем зарядов легких ионов, в среднем на порядок больше, чем плотность объемного заряда легких ионов.

Следует отметить, что в пунктах Ростовской области, расположенных в степной засушливой зоне юга России, даже в отсутствии антропогенного загрязнения наблюдается образование аэрозолей в результате ветрового подъема частиц с поверхности почвы, особенно в дневное время, когда отмечается суточный максимум скорости ветра. На плато Шаджатмаз и на берегу озера Байкал, где условия в летний период характеризуются сравнительно низкими температурами и высокой влажностью, аэрозольная компонента представлена преимущественно конденсационными частицами. Результаты лабораторных экспериментов свидетельствуют о том, что по мере увеличения относительной влажности воздуха наблюдается изменение избирательности аэрозольных частиц по отношению к легким ионам разных знаков [1], что приводит к появлению объемных зарядов в атмосфере. Таким образом, на процесс переноса зарядов под действием механических сил влияют механизмы образования и зарядки аэрозолей в пункте наблюдений. Проведенные ранее исследования [2] результатов наблюдений в Цимлянске Ростовской области и на высокогорном плато Шаджатмаз с использованием однофакторного дисперсионного анализа показали, что влияние концентрации аэрозолей на вариации плотности тока механического переноса оказалось достоверным. Показатель силы влияния этого фактора, рассчитанный по методу Снедекора [3] в Цимлянске оказался равным 16%, на плато Шаджатмаз – 13%.

Анализ данных, полученных в Цимлянске показал, что при влажности меньше 40%, среднее значение плотности тока механического переноса из атмосферы на землю было отрицательным, в часы, когда влажность превышала 40%, практически все значения плотности тока оказались положительными (таблица 2). За рассматриваемый период измерений не наблюдалось значений влажности выше 60%.

Таблица 2. Средние значения плотности тока механического переноса атмосфера-земля для разных интервалов влажности в Цимлянске

Влажность	Среднее значение $i_{мп}$	Процент
$\varphi < 40\%$	-0,65 $\mu\text{A}/\text{m}^2$	отрицательных значений 72%
$40\% < \varphi < 60\%$	0,53 $\mu\text{A}/\text{m}^2$	положительных значений 95%

Таким образом, результаты полевого эксперимента показывают, что термодинамический режим приземного слоя атмосферы и механизмы образования и зарядки аэрозоля в пунктах наблюдений оказывают существенное влияние на перенос заряда на земную поверхность под действием механических сил.

Список публикаций:

[1] Смирнов В.В. // *Известия РАН. ФАО*, 2010, том 46, №3, с.321-331

[2] Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Петров А.И., Егоров Е.В., Шевченко А.В. // *Ярославль: Филигрань*, 2019, С.59.

[3] Лакин Г.Ф. // *«Высшая школа»*, М., 1990, 350 с.

Объемная активность радона-222 в приземной атмосфере и почвенном газе по результатам экспедиционных измерений

Тимошенко Геннадий Геннадьевич

Матыцина Анастасия Романовна

Южный федеральный университет

Петрова Галина Григорьевна

georgpu@rambler.ru

На протяжении ряда лет лабораторией геофизических исследований Физического факультета Южного федерального университета в сотрудничестве с Институтом физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН (ИФА РАН) проводятся комплексные экспедиции по исследованию закономерностей электрических процессов в приземной атмосфере. Одной из задач экспедиций является определение значимых для электричества нижней атмосферы факторов, исследование процессов формирования их вариаций и установление количественных соотношений с ними атмосферно-электрических характеристик.

Как показывают исследования, важнейшим фактором, определяющим ионизационный режим приземного слоя, является природный газ радон, главным образом, его изотоп радон-222. Радон-222 α -радиоактивен, что определяет его большую ионизирующую способность. Образуется радон-222 в недрах в результате цепочки радиоактивных распадов урана-238 и в атмосферу поступает из грунта через естественные поры и трещины, из-за чего поток радиоактивных газов в значительной степени зависит от свойств и состояния подстилающей поверхности, от ее газопроницаемости. Изотоп радон-222 имеет период полураспада 3,8 суток, что позволяет ему распространяться в атмосфере на значительные расстояния от земной поверхности и ионизировать атмосферу изнутри. Поэтому для ионизации атмосферы он имеет особенно важное значение, чем и продиктован интерес к измерению активности радона-222 при организации экспедиционных исследований.

Для измерений объемной активности (ОА) радона-222 в атмосфере использовался радон-монитор «AlphaGUARD PQ2000 PRO» в режиме 10-минутного осреднения. В почвенном газе объемная активность радона определялась с использованием внешних устройств: датчика почвенного газа «AlphaGUARD Soil GasUnit» и электронного насоса «AlphaPUMP». На основании измерений объемной активности ^{222}Rn на глубине 0,1;0,6;0,9 метра оценивалась плотность потока радона (ППР) из почвы в атмосферу. На высокогорных станциях в силу особенностей грунта измерить содержание радона в почвенном газе на глубине 0,9 и даже 0,6 метра не всегда представляется возможным. В этом случае ППР определялась с помощью накопительной камеры. В этом методе измерение плотности потока ^{222}Rn с поверхности грунта определяется по количеству ^{222}Rn , накопленного в пробоотборнике или в измерительной камере за счет поступления с поверхности грунта известной площади за известное время.



рис.1. Плотность потока радона-222 из почвы в атмосферу на плато Шаджатмаз (КВНС ИФА) в зависимости от осадков: 1)4.08.21;

В работе анализировались результаты экспедиционных измерений на Кисловодской высокогорной научной станции Института физики атмосферы им.А.М.Обухова (ИФА) РАН, расположенной на плато Шаджатмаз (2100 м) в летние месяцы 2018-2021 г.г. в сравнении с результатами экспедиций (июль-август) в пунктах Ростовской области (РО) в степной зоне: на Цимлянкой научной станции ИФА РАН в период 2014-2017 и в пунктах Кашарского района РО в предыдущий период.

Оценка плотности потока радона-222 из почвы в атмосферу для КВНС дала сравнительно низкие значения ППР. Например, в августе 2019 ППР на плато Шаджатмаз в среднем равнялась 14,3 мБк/м²с, а в августе 2021 всего 9,8 мБк/м²с. Для Цимлянска в 2017 ППР

составила, соответственно, 21,2 мБк/м³с, а для Талловерова Кашарского района РО в 2008 28 мБк/м³с. При этом объемная активность радона-222 в грунте на высокогорной станции на глубине 0,6 м имеет близкие со степными пунктами значения. Относительно малый по сравнению с пунктами Ростовской области поток радона из почвы на высокогорном плато обусловлен, возможно, пониженной газопроницаемостью грунта, обусловленной большим количеством обильных осадков. Типичной для вариаций ППР можно считать ситуацию, представленную на рисунке 1: сильный дождь с градом во второй половине дня 4.08.21 способствовал ослаблению потока радона 5.08.21 и последующему восстановлению значений ППР в условиях сухой погоды.

Содержание радона в атмосферном воздухе, безусловно, определяется потоком радиоактивного газа из почвы. Но помимо этого объемная активность (ОА) радона-222 в приземной атмосфере зависит от ее динамики. Влияние ветрового режима на ОА радона вблизи земной поверхности можно видеть по результатам физико-статистического анализа экспедиционных данных, полученных в высокогорном и степном пунктах наблюдений (рис. 2).

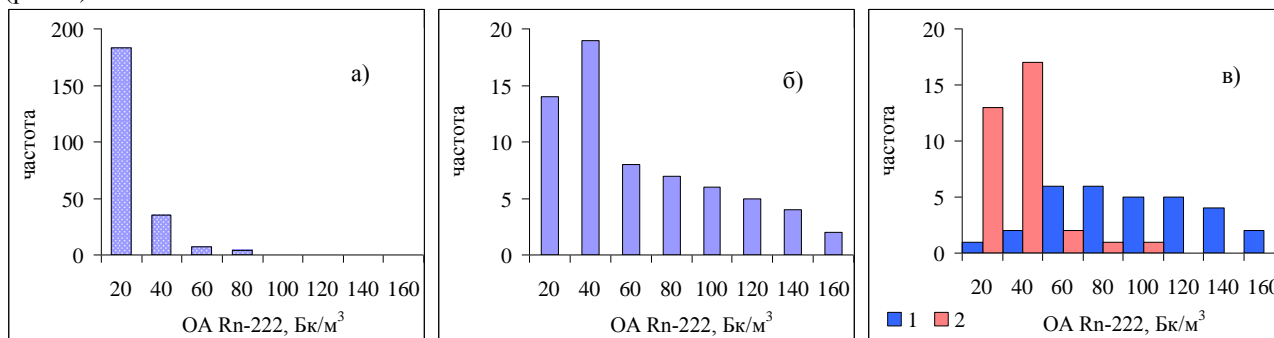


рис. 2. Эмпирические распределения значений объемной активности радона-222 на уровне $h=0,05$ м: а) КВНС ИФА, август 2019, 230 часов; б) Талловеров Кашарского района РО, август 2008, 65 часов; в) Талловеров Кашарского района РО, август 2008, при разных скоростях ветра U_2 на высоте 2 м: 1- $U_2 < 0,5$ м/с, 31 час; 2- $U_2 > 1$ м/с, 34 часа.

Рассмотрение диаграмм эмпирических распределений частоты появления различных значений ОА радона в исследуемых пунктах позволяет заметить наличие большого числа замеров с высокими значениями ОА радона в степном Талловерове (рис.2б). Дополнительный анализ с учетом скорости ветра показывает, что при малых скоростях ветра (рис.2в, диаграмма 1, $< 0,5$ м/с, 48 % замеров, 31 час) чаще наблюдаются большие значения ОА радона. Выборка замеров с повышенной скоростью ветра (рис.2в, диаграмма 2, > 1 м/с, 52 % замеров, 34 часа) обнаруживает, что в таких условиях чаще встречаются пониженные значения ОА радона. Исследование ветрового режима высокогорной станции ИФА РАН показало, что из 230 часов замеров скорость ветра меньше 0,5 м/с наблюдалась в 1 % случаев (для 3 часов замеров), а превышала 1 м/с в 91 % замеров. В итоге ветреной погоды на плато содержание радона в приземном слое преимущественно невелико, что определяет особенности ионизационного режима атмосферы. Аналогичная ситуация имеет место и на Цимлянкой научной станции ИФА РАН, где скорость ветра менее 0,5 м/с в период экспедиции 2017 не наблюдалась ни разу, а замеры со скоростью, большей 1 м/с, составили 100 %. Результатом является тот факт, что средняя ОА радона-222 в атмосфере на высоте 5 см в Талловерове в 2008 году равнялась 57 Бк/м³, тогда как в Цимлянске в 2017 - 15,5 Бк/м³, а на КВНС ИФА - 15,3 Бк/м³.