

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2022.4.79-96>

EDN YEBGNH

УДК 550.837.21

**К вопросу мониторинга внутриконтурного заводнения  
нефтегазовых залежей путем наземных измерений  
естественных электрических полей**

<sup>1</sup>Андреева Е.Е., <sup>1,4</sup>Валеева С.Е., <sup>2</sup>Валеева А.В., <sup>3</sup>Мухамадиев Р.С.,  
<sup>4</sup>Нуриева Е.М.

<sup>1</sup> *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия*

<sup>2</sup> *Институт «ТатНИПИнефть», Бугульма, Россия*

<sup>3</sup> *НПУ «Казаньгеофизика», Казань, Россия*

<sup>4</sup> *Казанский федеральный университет, Казань, Россия*

**On the issue of monitoring of in-circuit flooding of oil and gas  
fields by ground measurements of natural electric fields**

<sup>1</sup>E.E. Andreeva, <sup>1,4</sup>S.E. Valeeva, <sup>2</sup>A.V. Valeeva, <sup>3</sup>R.S. Mukhamadiev,  
<sup>4</sup>E.M. Nurieva

<sup>1</sup> *Institute of Ecology and Subsoil Use Problems of the Academy of Sciences  
Tatarstan Republic, Kazan, Russia*

<sup>2</sup> *TatNIPIneft Institute, Bugulma, Russia*

<sup>3</sup> *NPU "Kazangeofizika", Kazan, Russia*

<sup>4</sup> *Kazan Federal University, Kazan, Russia*

**E-mail: aee8277@rambler.ru**

**Аннотация.** В работе приведены результаты изучения естественных электрических полей, зарегистрированных на участке «Ивановский» нефтяного месторождения на территории Сармановского района Республики Татарстан. Измерения электрических потенциалов на дневной поверхности проводились на различных режимах работы нагнетательных скважин.

**Ключевые слова:** электрокинетические процессы, естественная поляризация (ЕП), потенциал фильтрации, мониторинг разработки, коэффициент извлечения нефти (КИН), внутриконтурное заводнение, нагнетательные скважины

**Для цитирования:** Андреева Е.Е., Валеева С.Е., Валеева А.В., Мухамадиев Р.С., Нуриева Е.М. К вопросу мониторинга внутриконтурного заводнения нефтегазовых залежей путем наземных измерений естественных электрических полей//Нефтяная провинция.-2022.-№4(32).-С.79-96. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.4.79-96>. - EDN YEBGNH

**Abstract.** In this paper presents the results of the study of natural electric fields registered at the Ivanovsky site oil field, located on the territory Sarmanovsky district in Tatarstan Republic. Measurements of electrical potentials on the daytime surface were carried out in various modes of operation of injection wells.

**Key words:** *electrokinetic processes, natural polarization (NP), filtration potential, development monitoring, oil recovery coefficient (ORC), in-circuit flooding, injection wells*

**For citation:** E.E. Andreeva, S.E. Valeeva, A.V. Valeeva, R.S. Mukhamadiev, E.M. Nurieva K voprosu monitoringa vnutrikonturnogo zavodneniya neftegazovykh zalezhey putem nazemnykh izmereniy yestestvennykh elektricheskikh poley [On the issue of monitoring of in-circuit flooding of oil and gas fields by ground measurements of natural electric fields]. Neftyanaya Provintsiya, No. 4(32), 2022. pp. 79-96. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.4.79-96>. EDN YEBGNH (in Russian)

## Введение

На нефтяных месторождениях Татарстана для повышения коэффициента извлечения (КИН) традиционной нефти успешно применяются различные классические технологии увеличения нефтеотдачи пластов, в частности, методика цикличной работы нагнетательных скважин, полимерное заводнение, использование ПАВ, обработка коллектора серной кислотой, щелочное заводнение, тепловое воздействие на пласт и другие [8].

При использовании разнообразных физико-химических методов воздействия на залежь, в геологическом пространстве, окружающем скважину, возникают аномальные геофизические поля: давлений, электрических потенциалов фильтрации, акустическое, температурное и другие [6,10,11]. Данные аномальные поля фиксируются методами ГИС при наблюдениях в скважинах [5], но также могут быть зарегистрированы на дневной поверхности с использованием определенных методик и аппаратных средств [13].

В разведочной геофизике электроразведка методами измерения естественного электрического поля (ЕП) давно и широко используется для решения разнообразных задач рудной и нефтяной геологии, мониторинга за

состоянием геологической среды, гидрогеологии [3, 9, 10]. Результаты методов наземной съемки ЕП связываются, как правило, с электрохимическими и электрокинетическими процессами, протекающими в приповерхностных и верхних этажах геологической среды [9]. Возможности регистрации на поверхности электрических полей, связанных с фильтрационными потенциалами более глубоких горизонтов, в полевых условиях малоизучены.

### **Постановка задачи исследований**

Как правило, контроль гидродинамических и петрофизических параметров продуктивных пластов осуществляется комплексом геофизических и гидродинамических методов в наблюдательных и эксплуатационных скважинах. Определенным недостатком такого мониторинга является площадная дискретность, обусловленная ограниченным количеством наблюдательных и эксплуатационных скважин, а также высокая стоимость каротажных исследований. Легкие наземные геофизические методы (магниторазведка, электроразведка, гравиметрия) при мониторинге разработки девонских и карбоновых залежей на территории Татарстана применяются достаточно редко [3].

Неоднозначные результаты работ, представленные в отчете НПУ «Казаньгеофизика»: «Разработка технологий по определению фильтрационных потоков в продуктивном пласте с помощью измерения электрических потенциалов фильтрации на дневной поверхности» привлекли наше внимание. Полевые работы методом ЕП с целью мониторинга процесса внутриконтурного заводнения нефтяной залежи путем измерения потенциалов ЕП на дневной поверхности были реализованы сотрудниками НПУ под методическим руководством доктора геолого-минералогических наук Э.К. Швыдкина [12] на одной из площадей Ромашкинского месторождения. При проведении полевых работ предполагалось, что интегральные

значения естественных электрических полей в той или иной степени отреагируют на циклическое заводнение нефтяной залежи.

Электрические поля, возникающие в процессе фильтрации нагнетаемой жидкости в коллектор, относятся к так называемым электрокинетическим явлениям [1, 4, 7].

Среди всего диапазона электрокинетических явлений, обусловленных разработкой залежи, основная роль будет принадлежать фильтрационным потенциалам течения, так как на этапах добычи происходит интенсивное движение жидкости в пласте. Электрический потенциал фильтрации, обусловленный движением флюидов в пористой среде, при сохранении постоянными таких параметров жидкости, как удельное электрическое сопротивление  $\rho_{ж}$ , диэлектрическая постоянная  $\epsilon'$ , вязкость  $\mu$ , в соответствии с законом Гельмгольца-Кройта, зависит только от перепада давления в пласте  $\Delta P$ :

$$E_{\phi} = \frac{\epsilon \rho_{ж} \zeta \Delta P}{4 \pi \mu} \quad (1)$$

При этом знак потенциала фильтрации  $E_{\phi}$  связан с направлением движения флюидов и знаком дзета-потенциала  $\zeta$  (для ионных растворов он отрицателен). Объем фильтрующихся флюидов в пласте, скорость фильтрации, направлении потоков будет определяться различными факторами, главными из которых являются изменение давления  $\Delta P$  и емкостно-фильтрационные характеристики пласта.

Существующее в районе залежи и наблюдаемое на дневной поверхности естественное электрическое поле ЕП будет являться суммарной суперпозицией потенциалов фильтрации (1), окислительно-восстановительных потенциалов, формирующихся на различных этажах геологического разреза и электромагнитных шумов естественного и техногенного происхождения.

Составляющая ЕП, обусловленная фильтрационными потенциалами

в залежи, может нести важную информацию о гидротермодинамических процессах и коллекторских свойствах пласта. В свою очередь, естественные электрические поля оказывают влияние на течение жидкости в поровом пространстве, что представляет практический интерес в методах контроля за разработкой и совершенствовании технологии извлечения нефти.

На современном этапе, накопленные геологические знания о нефтяных месторождениях Республики Татарстан, современные цифровые технологии позволяют по-новому подойти к интерпретации ранее полученных полевых материалов, хранящихся в фондах [2].

### **Исходные данные и методика работ**

Применяя современные цифровые технологии, мы попытались переработать и переинтерпретировать первичные материалы полевых наземных измерений естественных потенциалов, выполненных на участке «Ивановский» нефтяного месторождения северо-восточного склона ЮТС с целью выяснения возможностей и ограничений наземной съемки естественных электрических потенциалов при контроле за разработкой нефтяных коллекторов верхнего девона и нижнего карбона Ромашкинского месторождения.

Участок «Ивановский» (Рис. 1) расположен на юго-востоке Татарстана в пределах северо-восточного склона Южно-Татарского свода, при этом его площадь составляет  $\approx 7 \text{ км}^2$ .

Всего на участке «Ивановский» находится 14 скважин различного назначения, расположенных на площади достаточно неравномерно (Рис. 2).

На северо-западе участка находятся пять добывающих скважин (17016, 17017, 17018, 17019, 17020), в центральной части - четыре нагнетательных (6898, 26104, 6897, 17022) и на юго-западе - пять добывающих (26186, 17026, 17025, 17024, 26103).

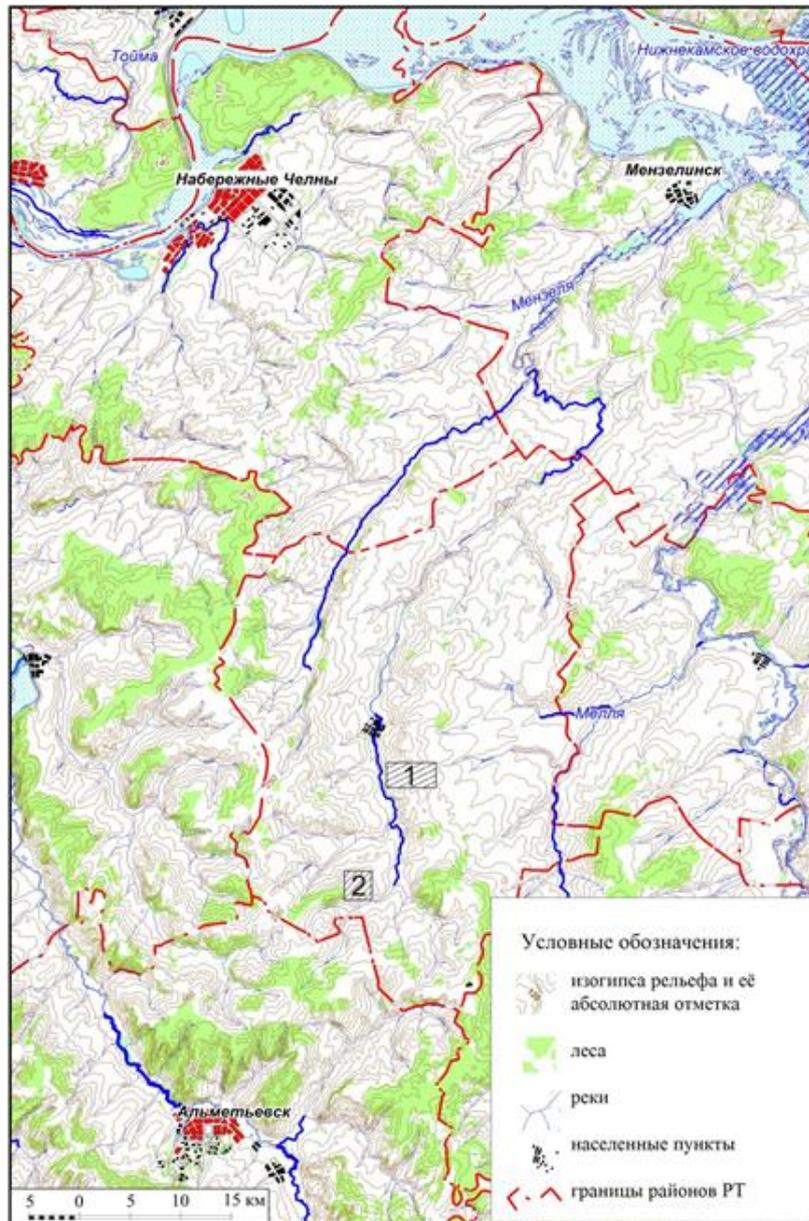


Рис. 1. Ситуационная карта расположения участка «Ивановский» (1)

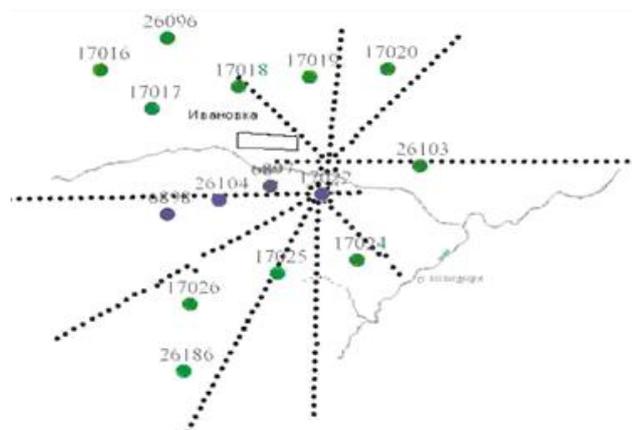


Рис. 2. Профили измерений ЕП и схема расположения эксплуатационных (● 17020) и нагнетательных скважин (● 17022) участка «Ивановский»

Разработка месторождения на данном участке проводится кустовым методом. Откачка нефти происходит из пластов-коллекторов карбонатных и терригенных отложений верхнего девона и терригенных отложений бобриковского горизонта нижнего карбона. По данным НГДУ, для нагнетания в пласт использовалась пресная вода с удельным электрическим сопротивлением 90-100 ом.м, давление нагнетания не превышало 100 атм.

Изучение естественных электрических полей на участке «Ивановский» проводилось в летний период с 8-го по 24-е июня с целью определения влияния на движение фильтрационных потоков режимов работы одной нагнетательной скважины № 17022 (Табл. 1). Применялась методика непосредственных измерений потенциалов ЕП на каждом пикете с шагом 50 м (Рис. 2) по отношению к опорной точке профиля, расположенной в устье нагнетательной скважины. В качестве приемных электродов применялись неполяризующиеся электроды системы ВИРГа. Собственная поляризация электродов контролировалась на профиле после 10-15 рядовых измерений и не превышала  $\pm 2$  мВ.

Таблица 1

***Циклы измерения потенциалов ЕП на участке «Ивановский»***

№ цикла	Начало измерений	Конец измерений	Режим работы нагнетательной скв.17022	Режим работы добывающих скважин
1	8.06	9.06	скв. отключ. (фон)	работа
2	10.06	10.06	скв. отключ. (фон)	работа
3	11.06	11.06	скв. отключ. (фон)	работа
4	13.06	13.06	скв. работает (2-й день нагнетания)	работа
5	16.06	16.06	скв. работает (6-й день нагнетания)	работа
6	23.06	24.06	скв. отключ. (фон)	работа

Выбор данной модификации измерений ЕП обусловлен поставленной задачей – выявление минимального изменения значений потенциалов фильтрации при большой глубине залегания пласта-коллектора, являюще-

гося объектом исследования.

Всего за данный полевой период в режиме мониторинга было выполнено шесть циклов измерений потенциалов (Табл. 1). По окончании каждого цикла измерений, проводилась привязка профилей к одной точке «нулевого» потенциала. Контроль за качеством измерений осуществлялся путем повторных замеров 10% точек. Общее количество основных измерений потенциала ЕП на всех этапах работ составило на участке «Ивановский» -395 ф.т.

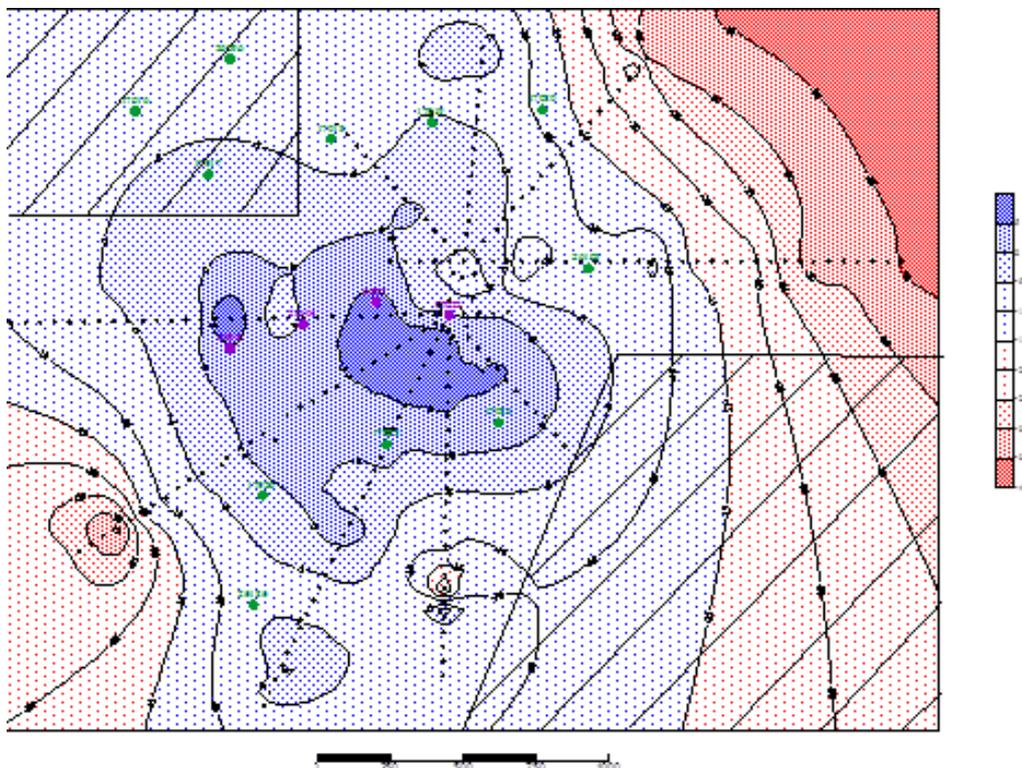
На дневной поверхности, по радиальной сети наблюдений с центром у скважины 17022 производились измерения электрических потенциалов ЕП на различных режимах работы одной нагнетательной скважины 17022. Первоначально, при отключенных всех нагнетательных скважинах участка и постоянно работающих добывающих, было выполнено три цикла измерений «фоновых» значений ЕП. Четвертый и пятый цикл измерений осуществлялся на вторые и шестые сутки работы нагнетательной скважины № 17022 (Табл. 1). Наблюдения заканчивались повторными «фоновыми» измерениями спустя неделю. Как видно из таблицы, шесть циклов измерений фильтрационных потенциалов на участке соответствуют двум режимам работы нагнетательной скважины 17022: «фоновому» циклы 1, 2, 3, 6, при котором измерения ЕП проводились при отключенных нагнетательных скважинах и работающих добывающих; «рабочему» - циклы 4, 5, когда измерения потенциалов ЕП проводились при закачке воды в пласт через скв. 17022 при работающих добывающих скважинах. Таким образом, на движение флюидов в продуктивном пласте при измерениях в «фоновом» режиме максимальное влияние оказывают добывающие скважины, а при измерениях в «рабочем» режиме свой вклад в направление фильтрационных потоков добавляет нагнетательная скважина 17022. Можно ожидать, что в этом случае должны изменяться замеренные на поверхности естественные электрические потенциалы, обусловленные дополнительным движением флюидов в продуктивном пласте.

Первый цикл измерений «фоновых» значений ЕП (08.06 – 09.06) в дальнейшем был исключен из обработки, так как было выявлено нарушение условия отключения одной нагнетательной скважины (6898).

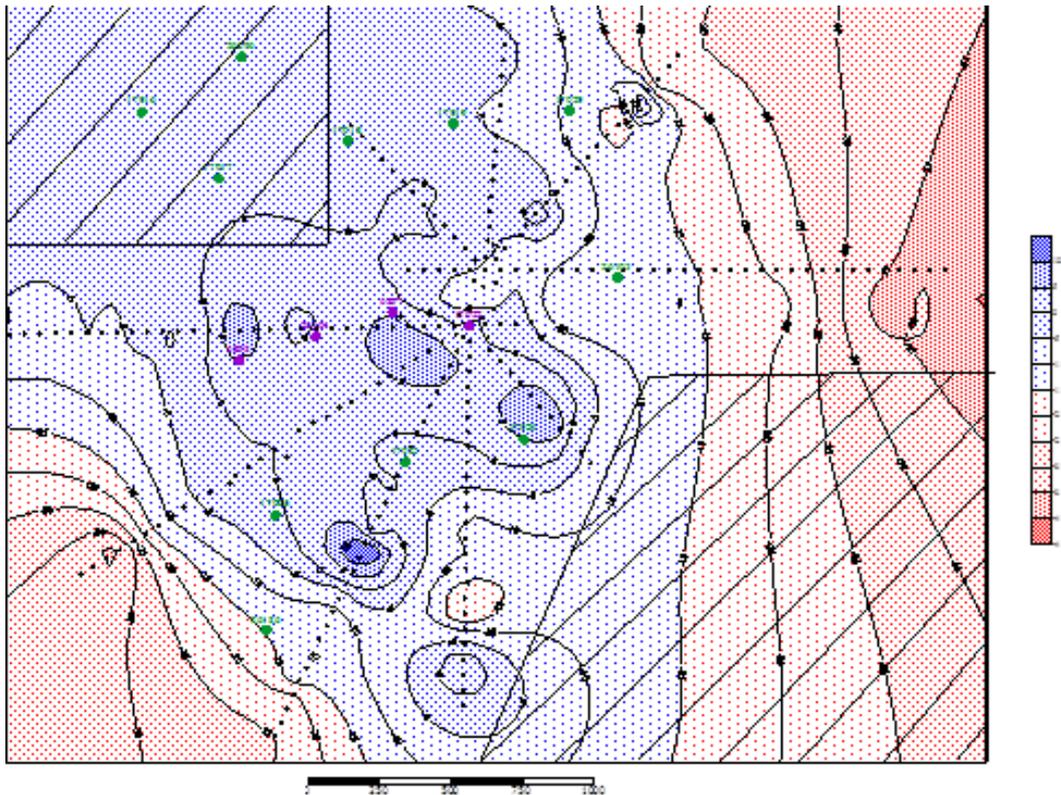
На северо-западе и юго-востоке участка «Ивановский» измерения потенциалов не проводились в связи с наличием на участке жилых построек деревни Ивановка и речки Холодной соответственно (см. рис. 2). Данные зоны не использовались при площадной интерпретации, как мало достоверные; на планах изолиний они отмечены штриховкой.

### Обсуждение результатов

По данным полевых наблюдений электрических потенциалов ЕП, были построены, с использованием пакета программ SURFER, планы изолиний ЕП для каждого этапа измерений. На рис. 3 и 4 представлены планы изолиний ЕП, характеризующие поверхностные потенциалы при неработающей нагнетательной скважине 17022 («фоновый» режим, рис. 3) и при ее работе («рабочий» режим, рис. 4).



*Рис. 3. План изолиний ЕП на участке «Ивановский», 6 цикл измерений, «фоновый» режим*



*Рис. 4. План изолиний ЕП на участке «Ивановский», 4 цикл измерений, «рабочий» режим*

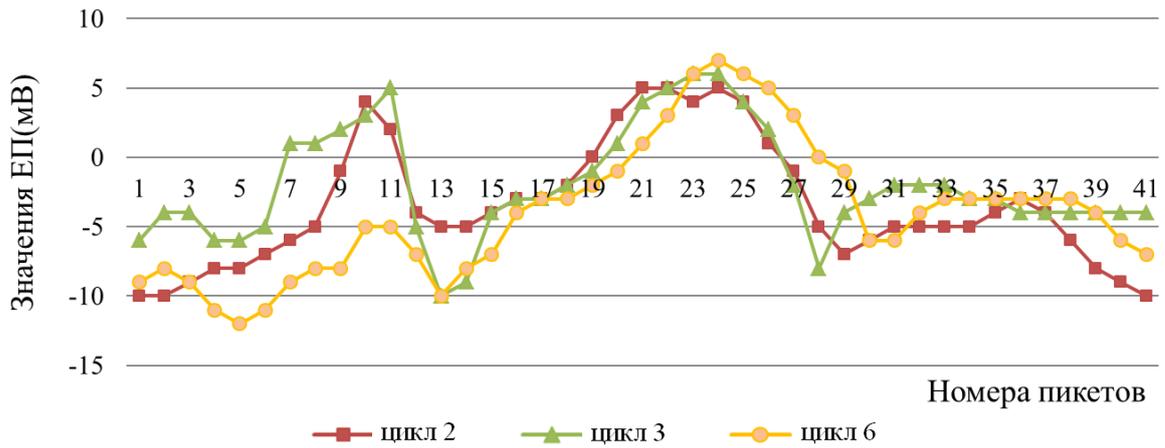
При построении и интерпретации планов изолиний ЕП, были отмечены некоторые методические моменты получения полевых материалов. В частности, использованная система наблюдений электрических потенциалов (см. рис. 2) представляла собой 9 радиальных профилей с центром (опорная нулевая точка) в районе нагнетательной скважины № 17022. Как правило, радиальные системы наблюдения оптимальны при изучении азимутальной анизотропии. В нашем случае, как показал анализ полевых данных, проявились некоторые отрицательные свойства таких систем наблюдения. В первую очередь это касается неравномерного распределения плотности физических точек наблюдений по площади. Так в районе нагнетательной скважины № 17022 плотность достигала значений 2000 ф. т. на кв. км, в то время как в районах добывающих скважин плотность оказывалась на два порядка ниже. Такая неравномерность значительно снижает информативность планов изолиний потенциалов, построенных с использованием программы Surfer.

При интерпретации построенных планов изолиний «фоновых» значений электрических потенциалов (Рис. 3), а также планов изолиний «рабочего» режима нагнетательной скважины (Рис. 4), обращает на себя внимание существенная разница потенциалов ЕП района северного куста добывающих скважин (17016, 17017, 17018, 17019, 17020), где значения ЕП находятся в диапазоне  $-10 -20$  mv, и южного куста (17026, 17025, 17024), где фоновые значения ЕП близки к нулю. С нашей точки зрения, подобная разница объясняется особенностями орографической ситуации района. На характер аномалии ЕП западнее скв. 17026, возможно, оказывает влияние поверхностная фильтрация подземных вод на этом участке, т.к. интенсивная локальная отрицательная аномалия до  $-30$  мв совпадает по местоположению с вершиной холма и может быть связана с вертикальной фильтрацией поверхностных вод.

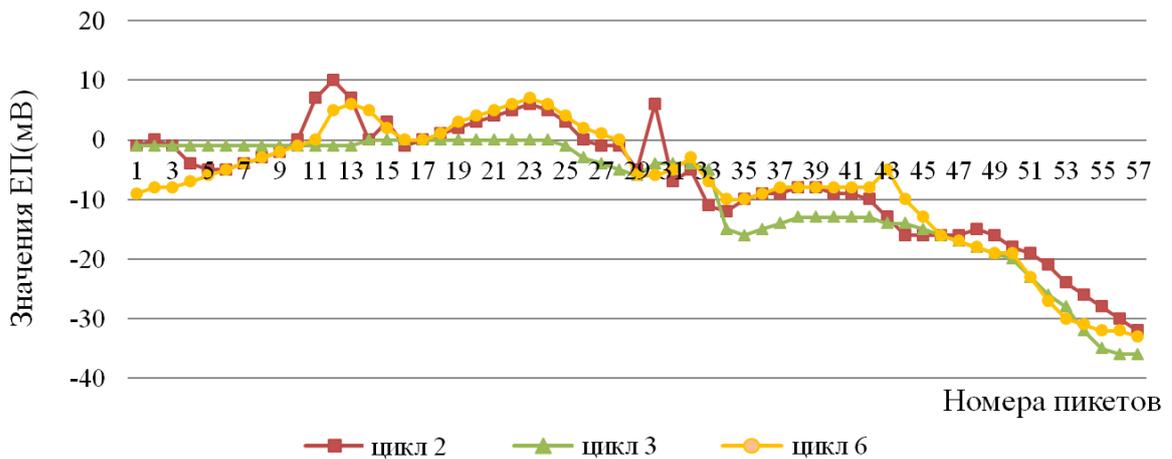
В центральной части участка «Ивановский» значения потенциалов ЕП, измеренные относительно опорной точки (скв. 17022), не превышают значений  $+5$  mv, и только на радиальном профиле восточного направления от «нулевой» точки наблюдается существенный рост отрицательных значений ЕП, достигающих до  $-40$  mv (Рис. 3, 4).

Для выяснения возможностей и ограничений наземной съемки естественных электрических потенциалов при контроле за разработкой нефтяных коллекторов верхнего девона и нижнего карбона Ромашкинского месторождения, дополнительно нами были построены и проинтерпретированы графики потенциалов ЕП по пикетам субмеридионального (Рис. 5) и субширотного (Рис. 6) профилей в «фоновом» режиме неработающих нагнетательных скважин. При построении использовались данные повторных наблюдений по трем циклам измерений. Аналогично по тем же профилям строились графики потенциалов ЕП при работающей нагнетательной скважине 17022, («рабочий» режим, Рис. 7, 8), циклы измерений 4, 5.

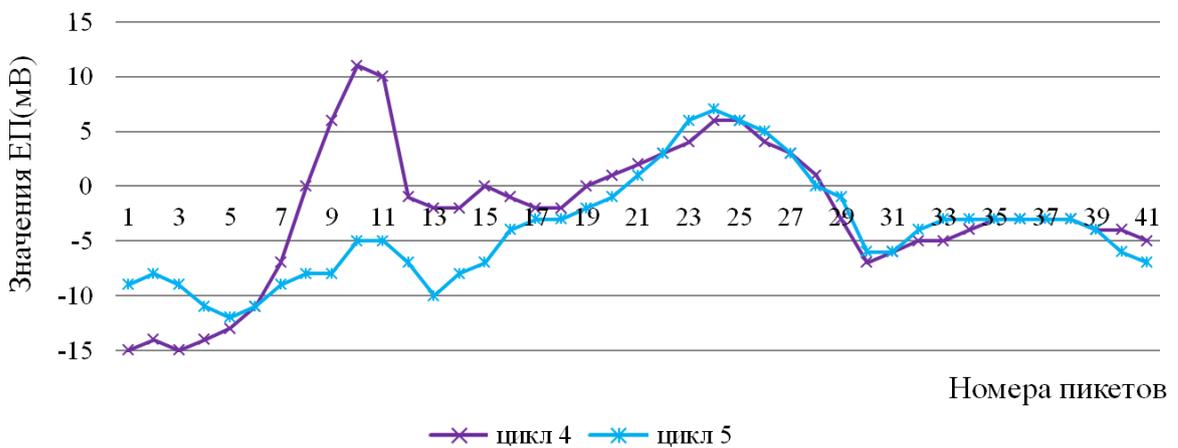
Суперпозиция графиков «фоновых» (циклы 2,3,6) и «рабочих» (циклы 4, 5) режимов измерений потенциалов ЕП представлена на рис. 9, 10.



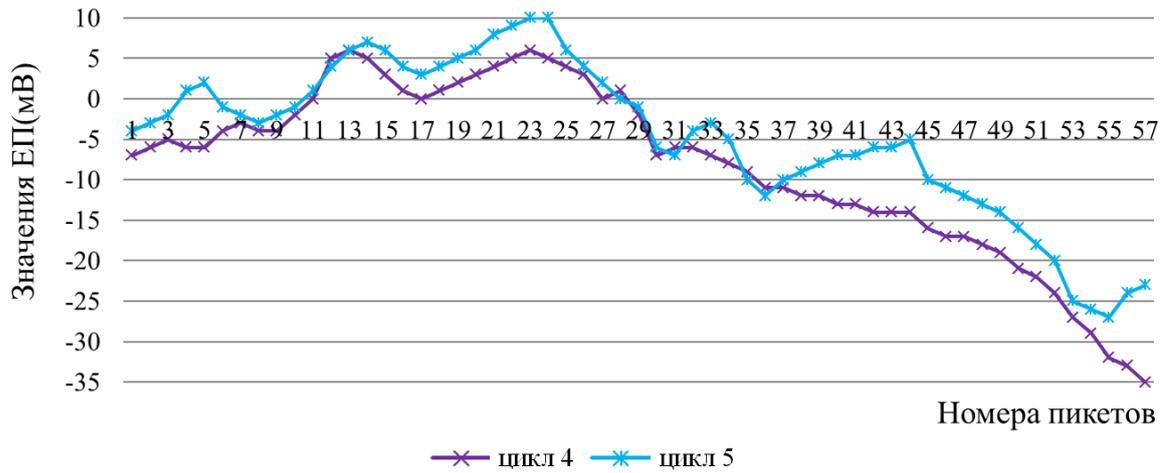
**Рис. 5. Потенциалы ЕП по субмеридиональному профилю участка «Ивановский», фоновый режим. Сква. 17022**



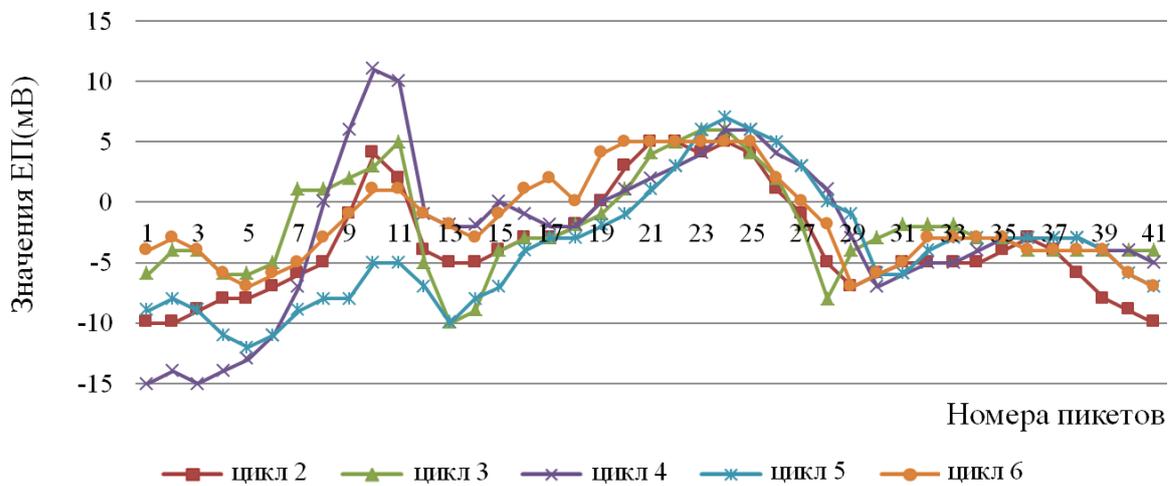
**Рис. 6. Потенциалы ЕП по субширотному профилю участка «Ивановский», фоновый режим. Сква. 17022**



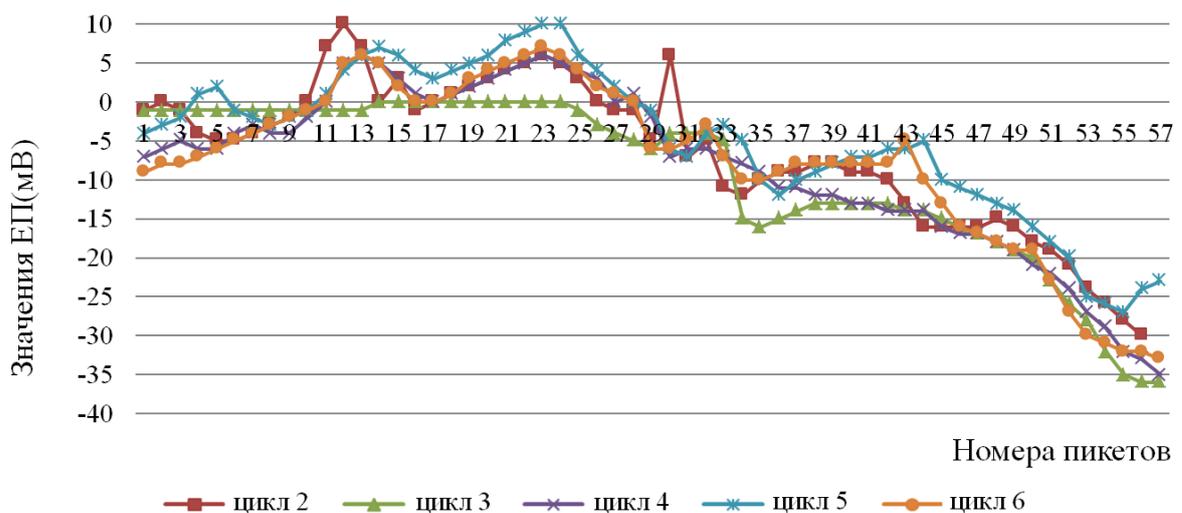
**Рис. 7. Потенциалы ЕП по субмеридиональному профилю участка «Ивановский», рабочий режим. Сква. 17022**



**Рис. 8. Потенциалы ЕП по субширотному профилю участка «Ивановский», рабочий режим. Скв. 17022**

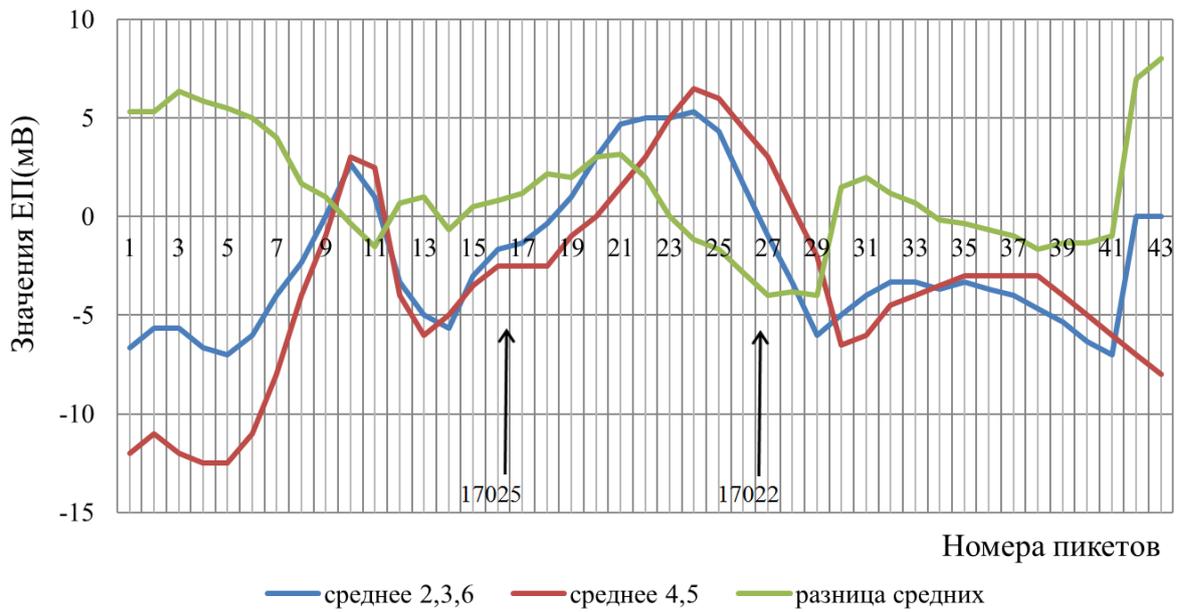


**Рис. 9. Суперпозиция графиков «фоновых» (циклы 2,3,6) и «рабочих» (циклы 4,5) режимов измерений потенциалов ЕП по субмеридиональному профилю. Скв. 17022**

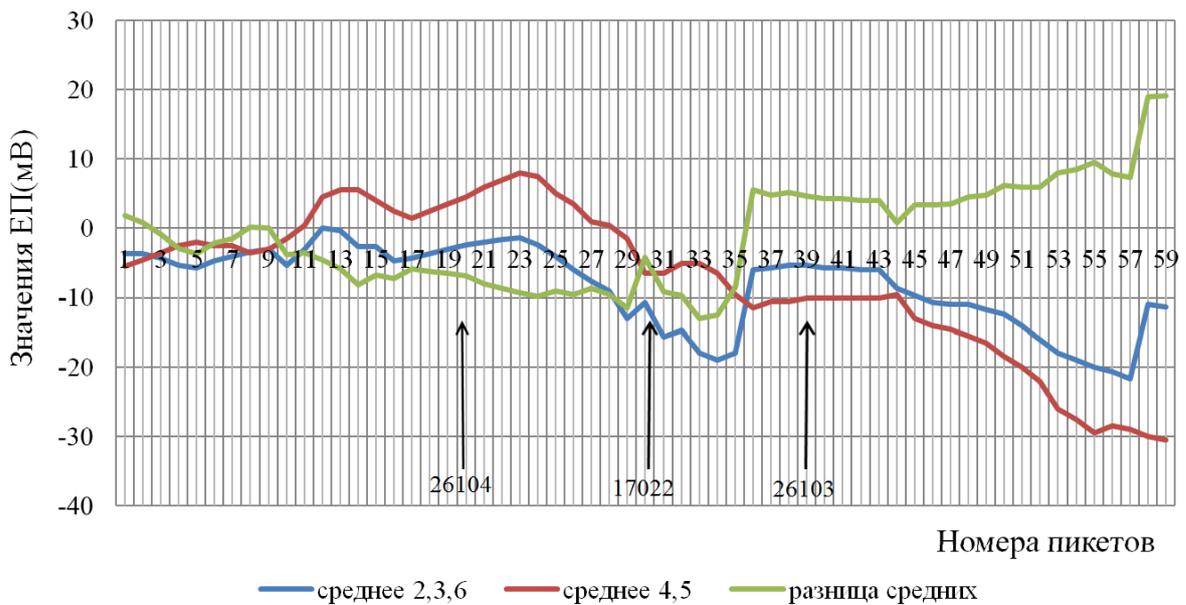


**Рис. 10. Суперпозиция графиков «фоновых» (циклы 2,3,6) и «рабочих» (циклы 4,5) режимов измерений потенциалов ЕП по субширотному профилю**

С целью выявления эффекта влияния работы нагнетательной скважины 17022 на измеренные на поверхности потенциалы ЕП была произведена статистическая обработка и построение осредненных графиков ЕП «фонового» и «рабочего» режимов, совмещенные с их разностными значениями (Рис. 11, 12).



**Рис. 11. Осредненные графики ЕП «фонового» ( - ) и «рабочего» ( - ) режимов, совмещенные с их разностными значениями по субмеридиональному профилю**



**Рис. 12. Осредненные графики ЕП «фонового» ( - ) и «рабочего» ( - ) режимов, совмещенные с их разностными значениями по субширотному профилю**

Как мы можем наблюдать на рис. 11, разностные значения измеренных потенциалов ЕП по субмеридиональному и по субширотному профилям при остановленной и работающей нагнетательной скважине 17022 в целом незакономерно флуктуируют в пределах плюс – минус 5 – 10 мв.

В «фоновом» режиме, при закрытой скважине 17022, нулевая точка в районе устья, относительно которой измеряется потенциал всех физических точек на участке, характеризуется незначительным потенциалом близким к потенциалу соседних точек на профиле.

С началом нагнетания жидкости в пласт, электрический потенциал в этой же точке изменяется за счет локального увеличения давления в пласте. Локальные изменения этого потенциала будут иметь отрицательный знак, т.к. для ионных растворов, фильтрующихся в терригенно-карбонатных породах, дзета-потенциал будет иметь так же отрицательный знак.

Однако при обработке измерений потенциала, полученных при нагнетании жидкости в пласт, эти изменения потенциала нулевой точки не учитываются. Её потенциал по-прежнему принимается равным нулю, за счет чего и появляется смещение кривых потенциала на разных этапах. Это смещение характеризует максимальную величину аномального эффекта, наблюдаемого на дневной поверхности от локального повышения давления на забое нагнетательной скважины. В случае конкретной скважины 17022, как видно на рис. 11, 12 аномальный эффект не превышает 12-15 мв, а зона влияния этой скважины имеет весьма ограниченные размеры.

### **Заключение**

При измерениях естественных потенциалов на участке “Ивановский” в 2000 году суммарное влияние многочисленных добывающих скважин, работающих в постоянном режиме, значительно превышает влияние еди-

ничной нагнетательной скважины, и затрудняют выделение локального техногенного электрического поля.

Изменения величин фильтрационного потенциала, обусловленного нагнетанием жидкости в пласт, измеренные на дневной поверхности, не превышают уровень естественных техногенных помех, обусловленной работой добывающих скважин.

Аномальный эффект ЕП от работы одиночной нагнетательной скважины при глубине залегания пласта 1000-1100 м и при нагнетании пресной воды имеет весьма незначительную величину.

### Список литературы

1. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. // М. Недра, 1984.- 211с.
2. Борисов А.С. Геологические фонды как источник новых знаний о старых нефтегазовых месторождений / А.С. Борисов, Е.Е. Андреева, Л.З. Анисимова, Е.М. Нуриева, А.А. Титов // Экспозиция Нефть Газ . -2019. №3(70). - С.14-16.
3. Боровский М.Я., Газеев Н.Х., Нургалиев Д.К. Геоэкология недр республики Татарстан: геофизические аспекты. - Казань: Экоцентр, 1996. -316 с.
4. Бурсиан В.Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке. Л.: Недра, 1972. -256 с.
5. Вендельштейн Б.Ю. Исследование разрезов нефтяных и газовых скважин методом собственных потенциалов. - М.: Недра, 1966. - 205 с.
6. Галеев Р.Г., Муслимов Р.Х., Васясин Г.И. Техногенез и экологический мониторинг юго-востока РТ. - Казань: КГУ, 1995. -244 с.
7. Гаттенберг Ю.П. Гидрогеология и динамика подземных вод с основами гидравлики. - М.: Недра, 1990. - 171 с.
8. Муслимов Р.Х. Опыт Республики Татарстан по рациональному освоению нефтяных богатств недр: былое и думы о будущем развитии / Р.Х.Муслимов. – Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2021. – 680 с.
9. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. М.: Недра, 1980. - 446 с.
10. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования. - М.: Недра, 1988.-396 с.
11. Шапиро Д.А. Физико-химические явления в горных породах и их использование в нефтепромысловой геофизике. - М.: Недра, 1977. - 190 с.
12. Швыдкин, Э.К. Геофизические и геохимические технологии прогноза и оценки нефтеносности объектов / Э.К. Швыдкин, А.С. Якимов, В.А. Вассерман. – Казань : Новое Знание, 2008. – 164 с.
13. Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л. Электроразведка. - М.: Недра, 1988. - 395с.

### References

1. Barenblatt G.I., Kolesnikov V.M., Ryzhik V.M. *Dvizhenie zhidkостей i gazov v prirodny`x plastax* [Movement of liquids and gases in natural formations.] // M. Nedra, 1984.- 211p. (In Russian)

2. Borisov A.S. *Geologicheskie fondy` kak istochnik novy`x znaniy o stary`x neftegazovy`x mestorozhdenij* [Geological funds as a source of new knowledge about old oil and gas fields] / A.S. Borisov, E.E. Andreeva, L.Z. Anisimova, E.M. Nurieva, A.A. Titov // Exposition Oil Gas. -2019. No. 3(70). - Pp.14-16.(In Russian)
3. Borovsky M.Ya., Gazeev N.H., Nurgaliev D.K. *Geo`kologiya nedr respubliki Tatarstan: geofizicheskie aspekty`* [Geoecology of the subsoil of the Tatarstan Republic: geophysical aspects]. - Kazan: Ecocenter, 1996. -316 p. (In Russian)
4. Bursian V.R. *Teoriya e`lektromagnitny`x polej, primenyaemy`x v e`lektrozvedke* [Theory of electromagnetic fields used in electrical exploration.] L.: Nedra, 1972. -256 p. (In Russian)
5. Wendelyptein B.Yu. *Issledovanie razrezov neftyany`x i gazovy`x skvazhin metodom sobstvenny`x poten-cialov* [Investigation of oil and gas well sections by the method of own potentials.] - M.: Nedra, 1966. - 205 p. (In Russian)
6. Galeev R.G., Muslimov R.H., Vasyasin G.I. *Texnogenez i e`kologicheskij monitoring yugo-vostoka RT* [Technogenesis and environmental monitoring of the South-East of the Republic of Tatarstan]. - Kazan: KSU, 1995. -244 p. (In Russian)
7. Gattenberg Yu.P. *Gidrogeologiya i dinamika podzemny`x vod s osnovami gidravliki.* [Hydrogeology and dynamics of groundwater with the basics of hydraulic engineering]. - M.: Nedra, 1990. - 171 p. (In Russian)
8. Muslimov R.H. *Opy`t Respubliki Tatarstan po racional`nomu osvoeniyu neftyany`x bogatstv nedr: by`loe i dumy` o budushhem razvitii* [The experience of the Republic of Tatarstan on the rational development of oil resources of the subsoil: the past and thoughts about future development] / R.H.Muslimov. – Kazan: Publishing house "FEN" of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2021. – 680 p. (In Russian)
9. Semenov A.C. *E`lektrozvedka metodom estestvennogo e`lektricheskogo polya* [Electrical exploration by the method of natural electric field]. M.: Nedra, 1980. - 446 p. (In Russian)
10. Khmelevskoy V.K. *Geofizicheskie metody` issledovaniya* [Geophysical research methods]. - M.: Nedra, 1988.-396 p. (In Russian)
11. Shapiro D.A. *Fiziko-ximicheskie yavleniya v gorny`x porodax i ix ispol`zovanie v neftepromy`s-lovoj geofizike* [Physico-chemical phenomena in rocks and their use in oil-field geophysics]. - M.: Nedra, 1977. - 190 p. (In Russian)
12. Shvydkin, E.K. *Geofizicheskie i geoximicheskie texnologii prognoza i ocenki neftenosnosti ob`ektov* [Geophysical and geochemical technologies of forecasting and evaluation of oil-bearing facilities] / E.K. Shvydkin, A.S. Yakimov, V.A. Wasserman. – Kazan : Novoe Znanie, 2008. – 164 p. (In Russian)
13. Yakubovsky Yu.V., Lyakhov L.L. *E`lektrozvedka* [Electrical exploration]. - M.: Nedra, 1988. - 395s. (In Russian)

### Сведения об авторах

*Андреева Евгения Евгеньевна*, старший научный сотрудник лаборатории геологического и экологического моделирования, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

Россия, 420087, Казань, ул. Даурская, д. 28

E-mail: aee8277@rambler.ru

*Валеева Светлана Евгеньевна*, старший научный сотрудник лаборатории геологического и экологического моделирования, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ; старший преподаватель кафедры геологии нефти и газа ИГиНГТ, Казанский (Приволжский) Федеральный Университет

Россия, 420087, Казань, ул. Даурская, д. 28

E-mail: ssalun@mail.ru

*Валеева Анна Валентиновна*, заведующий сектором, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина

Россия, 423236, Бугульма, ул. М. Джалиля, 32

E-mail: solidbug@tatnipi.ru

*Мухамадиев Рафаиль Сафинович*, директор, НПУ «Казаньгеофизика»

Россия, 420036, Казань, ул. Тэцевская, д. 27, к. 1

E-mail: asgr@tng-kazan.ru

*Нуриева Евгения Михайловна*, доцент кафедры минералогии и литологии ИГиНГТ, Казанский (Приволжский) Федеральный Университет

Россия, 420111, Казань, ул. Кремлевская, 4/5

E-mail: evgeniya-nurieva@yandex.ru

### Authors

*E.E. Andreeva*, Senior Researcher, Laboratory of Geological and Environmental Modeling, IPEM TAS

28, Dauruskaya st., Kazan, 420087, Russian Federation

E-mail: aee8277@rambler.ru

*S.E. Valeeva*, Researcher, Laboratory of Geological and Environmental Modeling, IPEM TAS; senior lecturer of the department geology oil and gas, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University

28, Dauruskaya st., Kazan, 420087, Russian Federation

E-mail: ssalun@mail.ru

*A.V. Valeeva*, Head of the sector, TatNIPIneft–PJSC TATNEFT

32, Musa Jalil st., Bugulma, 423236, Russian Federation

E-mail: solidbug@tatnipi.ru

*R.S. Mukhamadiev*, Director, NPU "Kazangeofizika"

27, room 1, Tetsevskaaya str., Kazan, 420036, Russian Federation

E-mail: asgr@tng-kazan.ru

*E.M. Nurieva*, Associate Professor Department of Mineralogy and Lithology, IGPT, Kazan Federal University

4/5, Kremlevskaya st., Kazan, 420111, Russian Federation

E-mail: evgeniya-nurieva@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23.09.2022

Принята к публикации 19.12.2022

Опубликована 30.12.2022