

3  
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

<http://www.elmag.uran.ru>

# БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН

*Vulpes corsac* Linnaeus, 1768

Корсак

Паженков А.С.



2021

**УЧРЕДИТЕЛЬ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОРЕНБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

© М.Ю. Нестеренко, 2021

УДК 553.98:551.2

*М.Ю. Нестеренко*

## **ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ БАЙТУГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА**

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Отдел геоэкологии), Оренбург, Россия

*Цель.* Повышение безопасности разработки месторождений нефти за счет выявления и прогнозирования опасных геодинамических процессов и явлений.

*Материалы и методы.* В целях исследования природных геодинамических процессов и явлений и выявления влияния техногенеза на динамику земной коры и, как следствие, земной поверхности, в районах интенсивной разработки месторождений углеводородов в Южном Предуралье создана сеть сейсмостанций, состоящей из 9 стационарных сейсмических станций, в том числе из трех, расположенных в районе Байтуганского месторождения нефти.

*Результаты.* Результаты мониторинга позволили сделать вывод, что в настоящее время разработка Байтуганского месторождения существенно не изменяет сложившееся природно-техногенное сейсмическое и геодинамическое состояние недр. Зарегистрированные сейсмические события приурочены к тектоническим нарушениям.

*Ключевые слова.* Разрабатываемое месторождение нефти и газа, Байтуганское месторождение нефти, сейсмическая активность, геодинамика.

---

---

*M.Y. Nesterenko*

## **GEODYNAMIC MONITORING OF THE TERRITORY OF THE BAYTUGAN OIL AND GAS FIELD**

Orenburg Federal Research Center, UB RAS (Geoecology Department), Orenburg, Russia

*Goal.* Improving the safety of oil field development by identifying and predicting dangerous geodynamic processes and phenomena.

*Materials and methods.* In order to study natural geodynamic processes and phenomena and identify the impact of technogenesis on the dynamics of the Earth's crust and, as a consequence, the Earth's surface, a network of seismic stations consisting of 9 stationary seismic stations, including three located in the area of the Baytugan oil field, has been created in the areas of intensive development of hydrocarbon deposits in the Southern Urals.

*Results.* The monitoring results allowed us to conclude that at present the development of the Baytugan deposit does not significantly change the existing natural-man-made seismic and geodynamic state of the subsurface. The recorded seismic events are associated with tectonic disturbances.

*Key words:* oil and gas field under development, Baytugan oil field, seismic activity, geodynamics.

## **Введение**

Добыча углеводородного сырья вызывает изменения в геологической среде и подземных водах. Техногенные изменения в недрах Земли обычно протекают замедленно и, как правило, имеют отдаленные последствия и трудно устранимы. При добыче нефти и газа постепенно уменьшается давление в продуктивных пластах и окружающих их водоносных горизонтах. Мероприятия по поддержанию пластового давления в соответствии с законом Мура обуславливают изменения в полях напряжений геологической среды, относительно увеличивая тангенциальные напряжения, а выполняемые гидроразрывы пласта снижают механическую прочность пород и могут спровоцировать разрядку накопившихся природных напряжений. Изменения в гидро- и газодинамике обуславливают соответствующие изменения в геодинамике твердой части земной коры. Последствия техногенных изменений в земной коре могут привести к техногенным катастрофам и чрезвычайным ситуациям: землетрясениям, провалам земной поверхности, изменениям в балансе и качестве подземных вод зоны активного водообмена, являющихся основным источником водных ресурсов для речного стока и водоснабжения [1-3].

В современных условиях геодинамические процессы могут контролироваться мониторингом сейсмических событий в недрах.

Решение задач мониторинга и прогнозирования геодинамических процессов в районах нефтегазодобычи возможно на основе разработанного сотрудниками Отдела геоэкологии Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН комплексного подхода мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности с использованием данных о геологическом и тектоническом строении районов месторождений УВ.

## **Материалы и методы**

В целях исследования природных геодинамических процессов и явлений и выявления влияния техногенеза на динамику земной коры и, как следствие, земной поверхности, в районах интенсивной разработки месторождений углеводородов в Южном Предуралье создана и зарегистрирована сеть сейсмостанций, которая вошла в общероссийскую сеть. К настоящему времени сеть состоит из девяти сейсмостанций, оборудованных сейсмоприемниками СМЗ-КВ, СМЗ-ОС и СМЕ-4311 и регистраторами SDAS v 3.1, UGRA, Guralp и Байкал-8. В данную сеть включена созданная сейсмическая станция

«ВТ1» на территории АБК ООО «БайТекс» в селе Новое Усманово, «ВТ2» на площадке «АГЗУ 2А» возле ДНС-1 ООО «БайТекс» и «ВТ3» в районе села Староборискино (табл. 1).

Таблица 1. Сейсмологическая группа мониторинга на Байтуганском месторождении

Название станции/ код	Координаты	Оборудование сейсмостанции	Дата ввода в эксплуатацию
ВТ1	54.11849 с.ш. 52.34792 в.д. Н = 179 м	Байкал-8, СМЕ-4311 СН=100 отсч/с	22-07-2015
ВТ2	54.24152 с.ш. 52.37214 в.д. Н = 338 м	Байкал-8, СМЕ-4311 СН=50 отсч/с	01-07-2016
ВТ3	54.2278 с.ш. 52.4591 в.д. Н = 184 м	Байкал-8, СМЗ-КВ СН=100 отсч/с	30-06-2017

В соответствии с проектом геодинамического полигона на Байтуганском месторождении нефти первая сейсмическая станция создана в 2015 г. в Южной части месторождения в районе села Новое Усманово. Село Новое Усманово расположено в Самарской области на границе с Оренбургской областью (рис. 1). Вторая сейсмическая станция в соответствии с проектом создана в 2016 г. в северо-западной части Байтуганского месторождения нефти на АГЗУ-2а в районе села Ерилкино. Село Ерилкино расположено в Клявлинском районе Самарской области на границе с Оренбургской областью (рис. 1). Третья сейсмическая станция в соответствии с проектом создана в 2017 г. в северо-восточной части Байтуганского месторождения нефти в районе села Староборискино в Северном районе Оренбургской области.

Необходимая точность и эффективность мониторинга геодинамической и сейсмической активности Байтуганского месторождения нефти обеспечивается использованием станций региональной и мировой сейсмологической сети. Сопоставление уровня геодинамической активности района Байтуганского месторождения с уровнем активности территорий, на которых отсутствуют разрабатываемые месторождения и техногенные изменения, позволяет оценивать влияние эксплуатации месторождения на геодинамику территории.

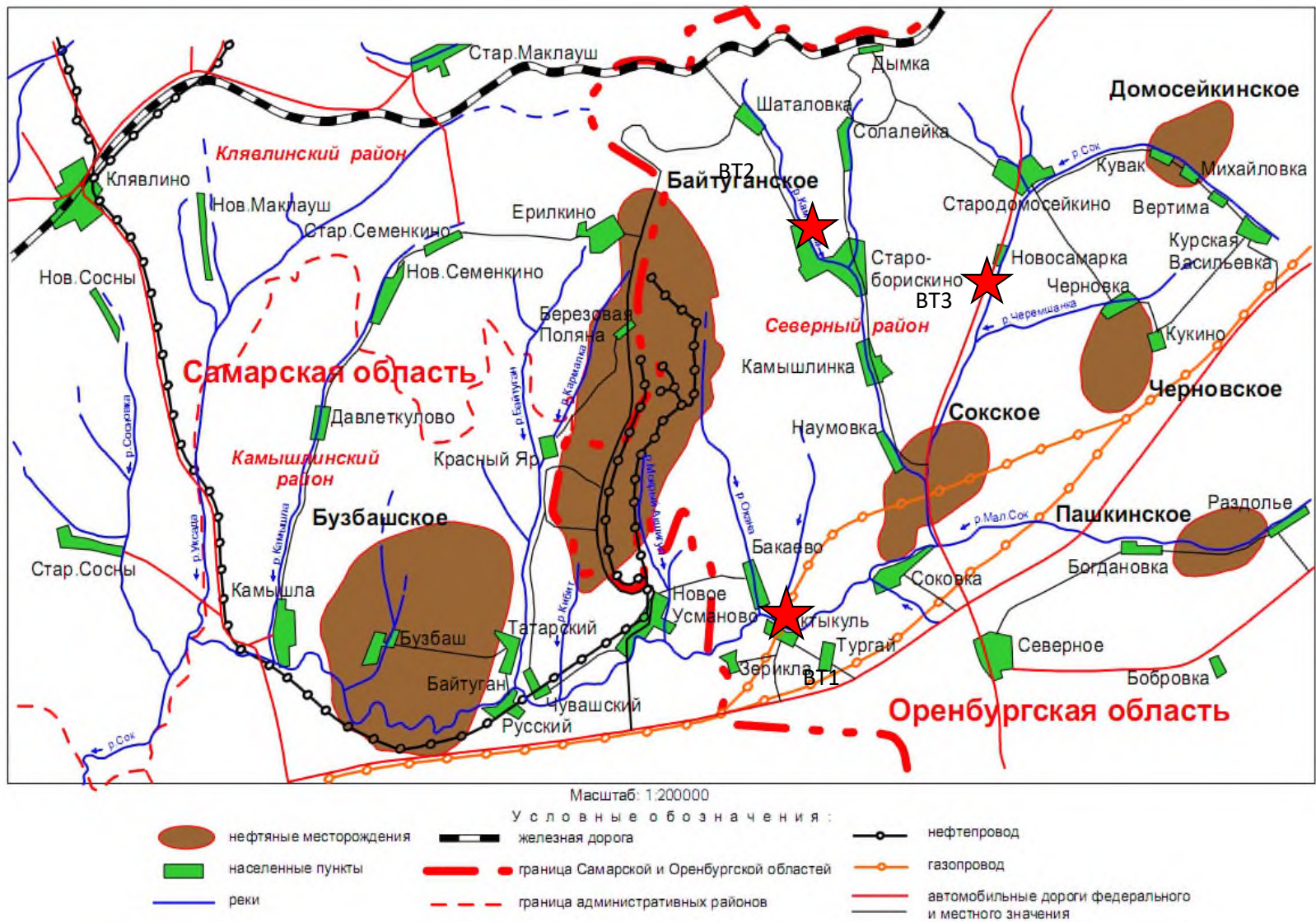


Рис. 1. Обзорная карта района Байтуганского месторождения нефти [5] с дополнениями.

★ - действующие сейсмостанции ВТ1, ВТ2, ВТ3.

## Оборудование сейсмических станций в районе проведения мониторинга Байтуганского месторождения.

Типовой комплект оборудования станции включает следующие блоки и системы:

- Велосиметр - датчик скоростей смещения земной поверхности СМЗ-КВ или СМЕ 4311 и регистратор сейсмических сигналов Байкал-8;
- GPS-приемник для привязки координат и точного времени;
- компьютер сбора, обработки и передачи данных;
- модуль передачи данных;
- система питания.

Регистраторы и комплекты трех осевых сейсмоприемников (раздельно-стоящие ориентированные велосиметры СМЗ-КВ и объединенные в одном корпусе с ориентацией по сторонам света СМЕ 4311 соединены экранированным проводом для внешней прокладки с отдельной жилой заземления. Сигналы с сейсмометров оцифровываются непрерывно с частотой оцифровки 50-100 отсчетов в секунду. Датчики установлены таким образом, чтобы осуществлять регистрацию движений по трем направлениям – вертикальному (Z) и горизонтальным – север-юг (N) и восток-запад (E). Датчики расположены на специально сооруженном постаменте в бункерах на глубине 4-5 м (рис. 2).

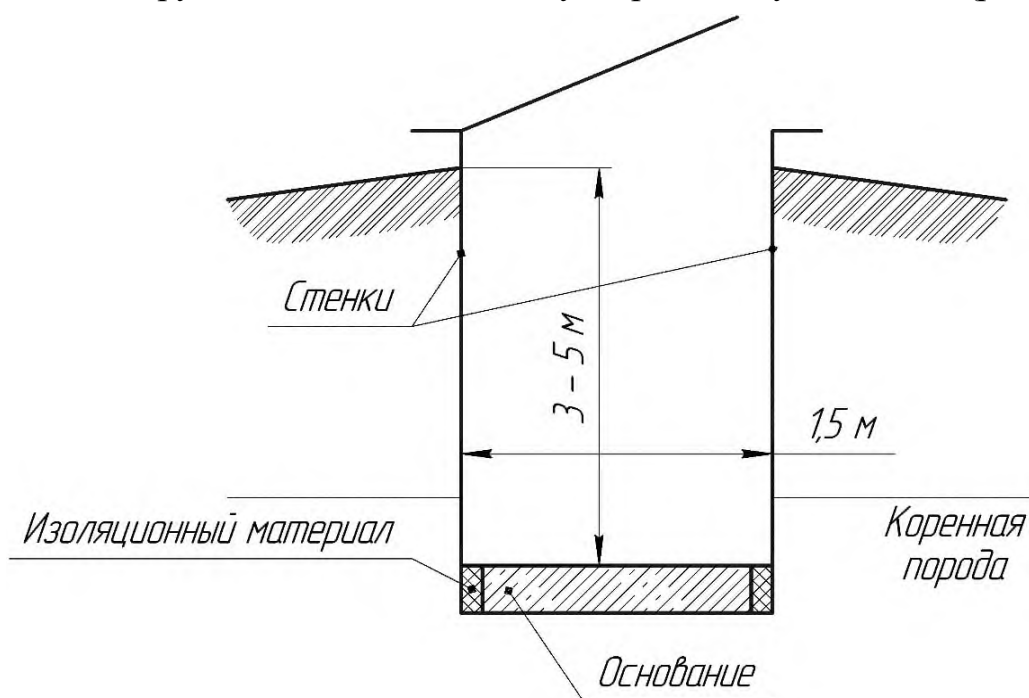


Рис. 2. Схема бункера сейсмической станции.

На дне шахты сейсмических станций оборудован постамент для установки датчика площадью  $0,5 \text{ м}^2$ , имеющий жесткий контакт с коренными породами и изолированный от стенок шахты для снижения помех. В соответствии с результатами анализа гидрогеологических условий и глубиной проявления грунтовых вод более 5 м, шахта выполнена в виде железобетонного колодца с использованием 5 железобетонных колец диаметром 1.5 м, перекрытого железобетонной крышкой.

Сейсмостанция «ВТ1» на территории АБК ООО «БайТекс» в с. Новое Усманово, сейсмостанция «ВТ2» (АГЗУ 2А в районе с. Ерилкино) и сейсмостанция «ВТ3» в районе с. Староборискино построены на базе широкополосного цифрового регистратора «Байкал-8» производства ООО "Экспас" (Россия), предназначенного для проведения региональных и телесеизмических наблюдений в стационарных и мобильных условиях. Основные параметры и характеристики станции соответствуют всем требованиям, предъявляемым к регистрирующей аппаратуре для мониторинга сейсмических явлений Земли.

#### **Оценка точности определения координат эпицентров сейсмических событий.**

Вопросы оценки точности при выполнении сейсмологических наблюдений рассматривались многими исследователями [5, 6] при наблюдении за природной и техногенной сейсмичностью. По результатам исследования [6], при использовании системы мониторинга сейсмической активности состоящей из 3-5 станций, расположенных на расстоянии до 20-50 км друг от друга ошибка локации сейсмических событий не превышает 300-500 м.

Погрешность при сейсмологических наблюдениях обусловлена:

1) Частотой дискретизации регистратора сейсмостанции. Большинство станций сети на Байтуганском месторождении имеют частоту дискретизации не менее 100 Гц. Таким образом, при скорости распространения сейсмической волны в верхней части земной коры 3-5 км/с ошибка оценки эпицентрального расстояния не превысит 50 м.

2) Ошибкой скоростной модели земной коры. Используются специально разработанные для Урала (Горный институт УрО РАН, ИЭПС УрО РАН) и адаптированные для территории Байтуганского месторождения годографы. Скорости оценены с ошибкой не более 0,1 км/с. Таким образом, оценка эпицентрального расстояния, обусловленная ошибкой скоростной модели на расстоянии 10-20 км, не превышает 300 м.

3) Ошибка определения времени вступления фаз оператором обуславливает ошибку локации не более 200-300 м.

Измерения выполняются на трех сейсмических станциях, следовательно, ошибка локации эпицентра составит не более 300 м, что соизмеримо с линейными размерами очагов событий. Использование уравнительных процедур позволяет еще более снизить ошибку локации эпицентра события.

Вычисления энергетических характеристик события построены на логарифмической функции амплитуды движения грунта, поэтому ошибки являются малозначимыми.

Данная точность 300-500 м достаточна для решения вопросов геодинамического мониторинга Байтуганского месторождения нефти и позволяет в целом оценить уровень сейсмоактивности. В случае превышения регистрируемой активности критического уровня в соответствии с проектом геодинамического полигона на Байтуганском месторождении предусматривается уплотнение сети и выполнение наблюдений за деформацией земной поверхности.

### **Результаты и обсуждение**

Региональная сейсмологическая сеть в Оренбургской области позволяет регистрировать сейсмические события на разных расстояниях от сети: местные, региональные и удаленные (телесеismicкие) события.

Результаты обработки данных о сейсмических событиях показывают, что ежемесячно Оренбургской сейсмологической сетью в среднем фиксировалось порядка 200 сейсмических событий различной природы. Большинство региональных и телесеismicких событий регистрируются всеми сейсмическими станциями Оренбургской сети, в том числе и станциями «ВТ1», «ВТ2» и «ВТ3».

### **Местные землетрясения, зарегистрированные на Байтуганском месторождении и прилегающих территориях.**

За время работы сети сейсмических станций на Байтуганском месторождении с 01.08.2015 г. (момент запуска первой сейсмической станции) по 01.12.2020 г. сетью сеймостанций области зарегистрированы 34 местных события, произошедших в районе Байтуганского месторождения (рис. 3-5).

Анализ статистических данных о количестве и магнитуде зарегистрированных местных событий за 2015-2020 гг. указывает на неравномерность их количества на месторождении (рис. 3-5)



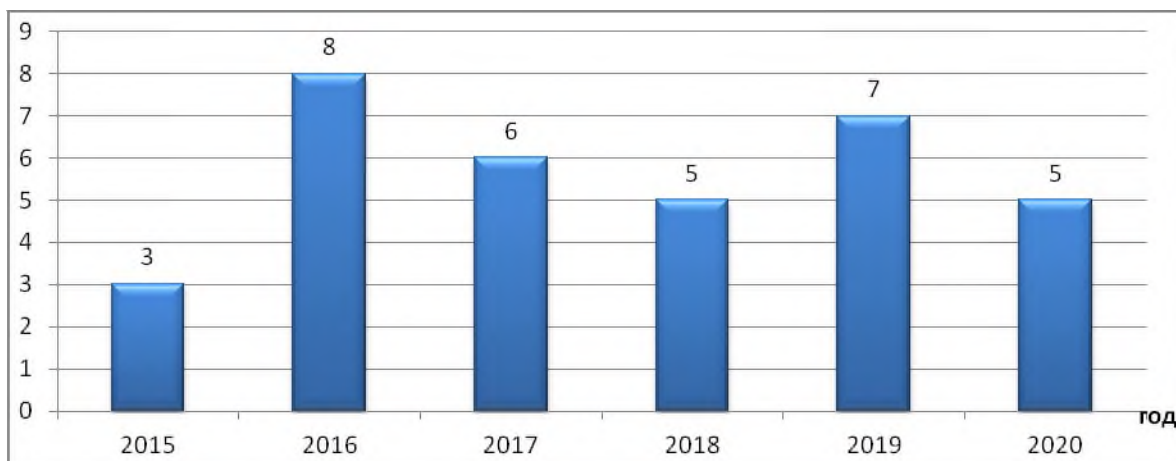


Рис. 3. Количество зарегистрированных сейсмических событий за период с 2015 по 2020 гг.

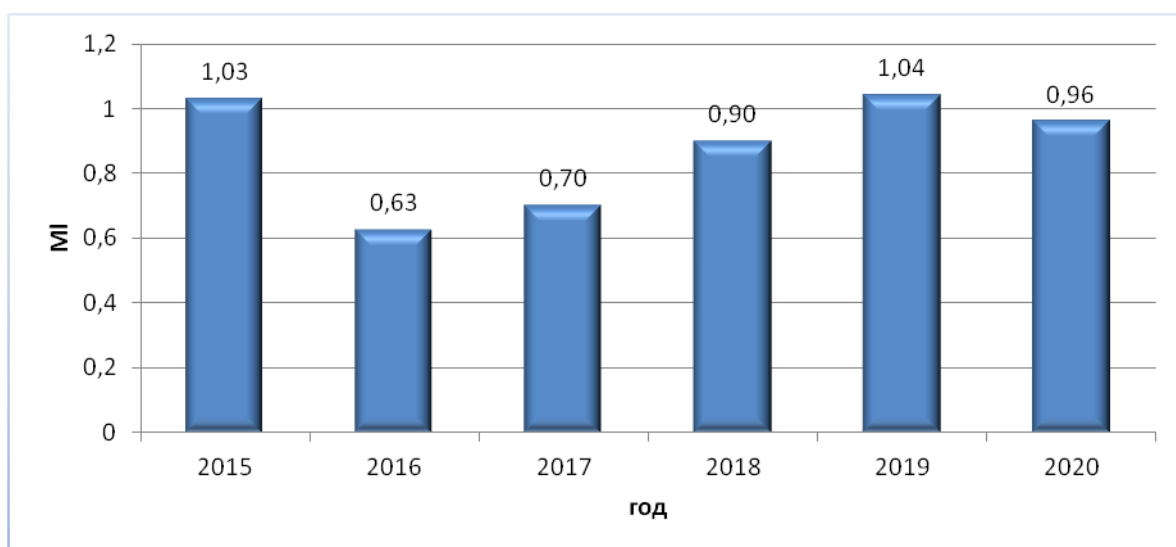


Рис. 4. Средняя магнитуда  $M_l$  сейсмических событий, зарегистрированных на территории исследования в 2015-2020 гг.

На рисунке 5 представлено распределение зарегистрированных сейсмических событий в районе Байтуганского месторождения нефти за последние пять лет. Их анализ показывает наиболее высокую активность недр в районе Байтуганского месторождения в сравнении с прилегающей к нему территорией.

За период с 01.01.2020 г. по 01.12.2020 г. зарегистрирован 81 импульс (рис. 6). Импульс – кратковременный процесс (менее 3 сек.), результатом которого являются сейсмические сигналы, регистрируемые сейсмометрами (рис. 7), как результат разрядки упругих напряжений, накопленных в земных недрах.

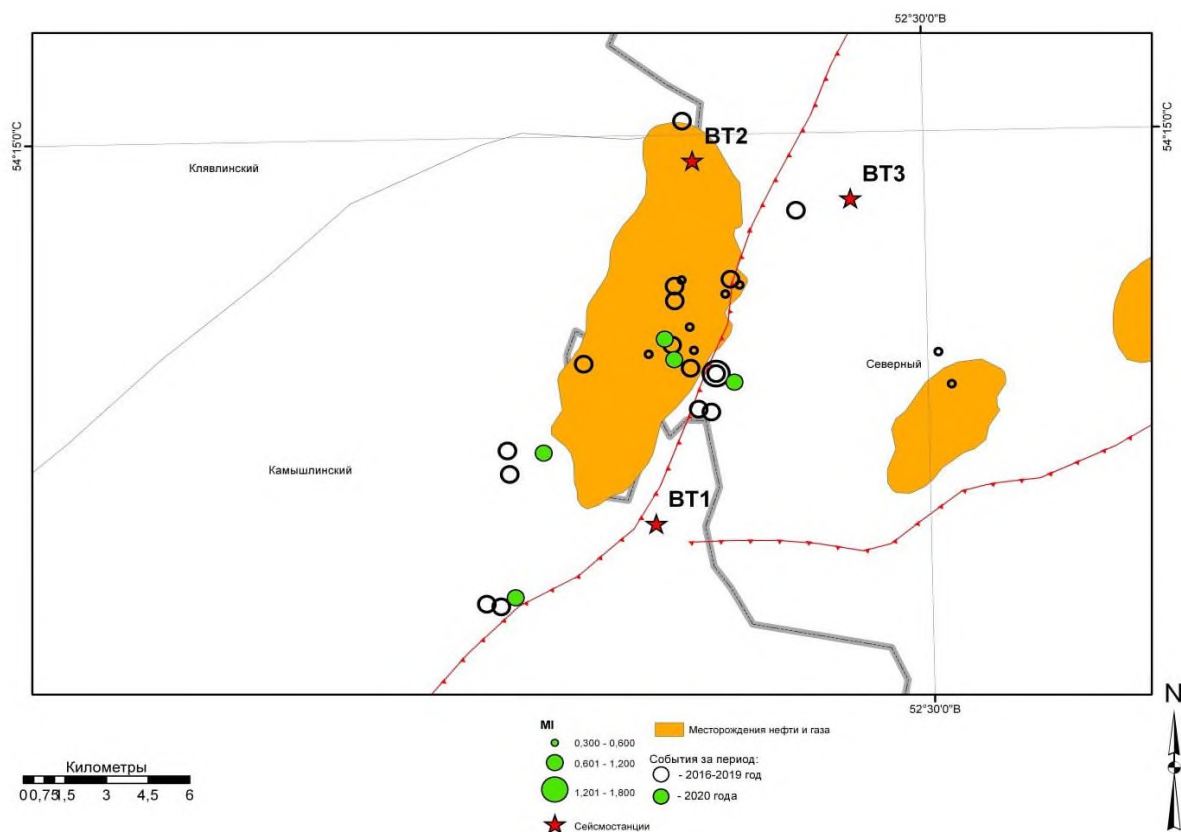


Рис. 5. Схема структурообразующих разломов, месторождений нефти и газа и эпицентров сейсмических событий зарегистрированные сейсмо-станциями «BT1», «BT2» и «BT3» в западной части Оренбургской области с 2015 по 2020 гг.

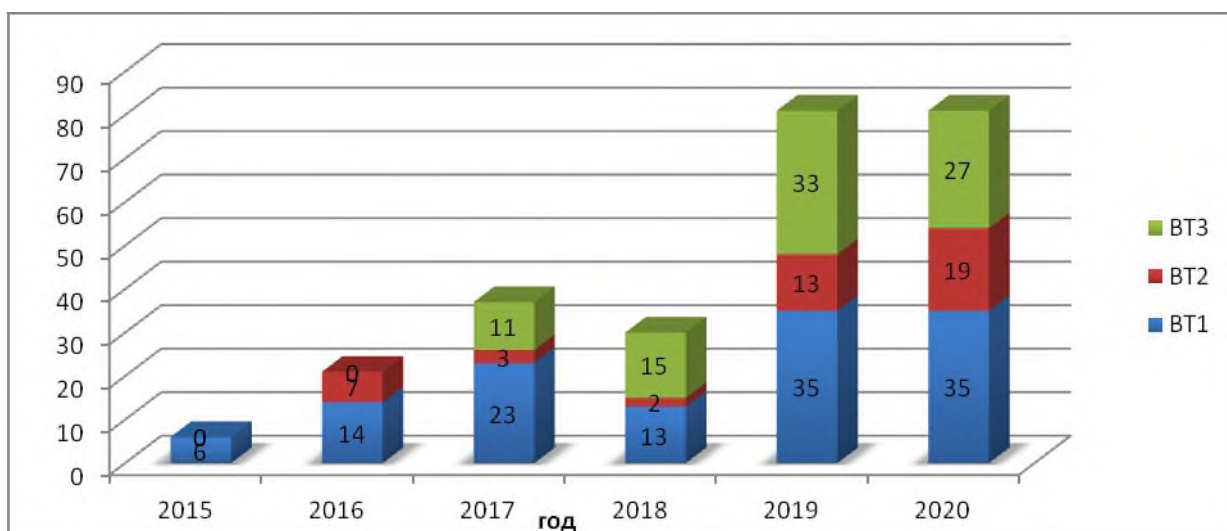


Рис. 6. Количество событий импульсного характера в районе Байтуганского месторождения нефти.

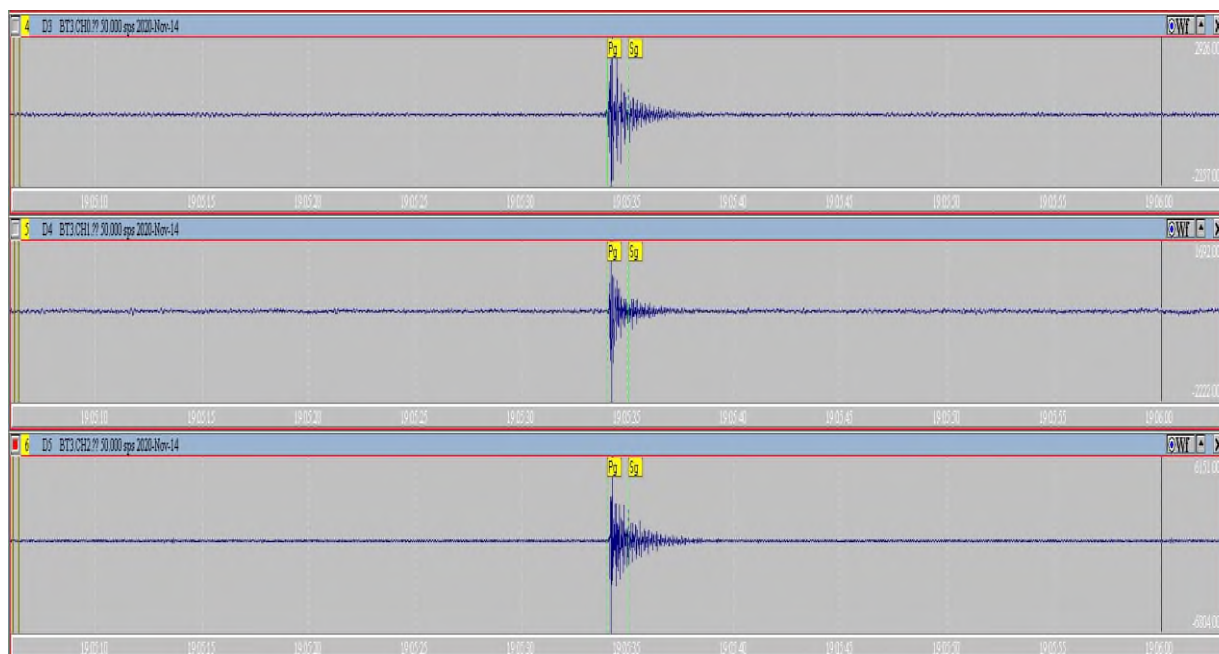


Рис. 7. Пример записи импульсного события за 14.11.2020 г. время в очаге 19-05-35 (GMT).

Из-за слабого сигнала не предоставляется возможным определить магнитуду, энергетический класс и эпицентр импульса. При получении сейсмоданных с других сейсмологических сетей близлежащих регионов будет производиться уточнение найденных событий. Эти импульсы происходят в непосредственной близости от регистрирующей станции.

### Заключение

Формирование современной структуры блоков земной коры и изменений в них требует изучения напряженных состояний земной коры, физико-химических свойств пород, подземных вод и газов. Но при освоении и эксплуатации недр приходится рассматривать не только напряженно-деформированное состояние и газогидродинамический режим блоков земной коры в их естественном состоянии, но и особенности верхних слоев земной коры, измененных техногенной деятельностью. При добыче нефти и газа наблюдаются горные удары, техногенные землетрясения и движения земной коры, но их механизм и формы проявления, а также взаимодействия природной и техногенной систем требуют систематизации и обобщения [7]. Наиболее перспективным направлением рационального природопользования следует признать метод геодинамического районирования. В основу районирования могут быть положены тектонический, неотектонический, геоморфологический, литологический, геохимический, гидрогеохимический, физико-

географический, дислокации техногенной нагрузки и другие принципы.

Геодинамическое районирование территории платформенного Оренбуржья позволит оценить геофизическую, гидрогеохимическую, гидродинамическую, морфоструктурную, тектоническую активности каждого выделенного блока земной коры, обосновать размещение сейсмостанций для мониторинга напряженно-деформированного состояния геологической среды и земной поверхности и сделать выводы об уровне природной и техногенной геодинамики в районе эксплуатируемого Байтуганского месторождения.

Для решения возникших вопросов в соответствии с требованиями нормативных актов и проекта геодинамического полигона на Байтуганском месторождении нефти создана сеть из трех сейсмостанций на территории исследований для определения положений центров сейсмических событий, идентификации сейсмических событий, выявления их причин и источников.

Выполняемый мониторинг за геодинамическими и сейсмическими процессами на Байтуганском месторождении в 2015-2020 гг. позволил получить следующие результаты:

1. Сформирован каталог местных и региональных сейсмических событий на основе сбора данных инструментального сейсмологического мониторинга сетью, состоящей из трех стационарных сейсмических станций Байтуганской сети и совместной обработки сейсмологических данных станций региональной сети Оренбургской области и Геофизической службы РАН.

2. Предварительный анализ строения геологической среды, кристаллического фундамента, блоково-разломной структуры земной коры указывают на неравномерность сейсмических событий в пространстве, причем на основе блочного строения земной коры и анализа данных о сейсмических событиях выделяются активные разломы и тектонически-напряженные зоны. Предварительный анализ распределения эпицентров сейсмических событий по территории месторождения выявил их тяготение к тектоническим нарушениям.

3. Результаты мониторинга позволили сделать вывод, что в настоящее время разработка Байтуганского месторождения существенно не изменяет сложившееся природно-техногенное сейсмическое и геодинамическое состояние недр. Зарегистрированные сейсмические события приурочены к тектоническим нарушениям.

4. Анализ взаимосвязи сейсмических событий со структурно-тектоническими элементами земной коры указывает на высокую сейсмиче-

скую активность Байтуганского разлома.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко М.Ю. Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Екатеринбург: ОНЦ УрО РАН, 2015. 186 с.
2. Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В. Мониторинг геодинамических процессов в нефтегазодобывающих районах. Экология и развитие общества. 2019. № 2 (29): 39-42.
3. Nesterenko M.Yu., Nesterenko Yu.M. Hydro-geodynamic and geodynamic processes in the platform territories of hydrocarbon production. Modern problems of reservoirs and their catchments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (2019).
4. Ковалева Г.А. и др. Технологическая схема разработки Байтуганского нефтяного месторождения, 2011.
5. Borman P. Conversion and comparability of data presentations on seismic background noise. Journal of Seismology. 1992-2002. 2: 37-45.
6. Маловичко А.А. и др. Оценка и контроль природной и техногенной сейсмичности и прогноз сейсмической опасности для территории Западного Урала (4 этап работ). Отчет по договору № 26/99. Пермь, фонды Горного института УрОРАН, Пермь, 2002. 41 с.
7. Адушкин В.В., Родионов В.Н., Турунтаев С.Б., Юдин А.Е. Сейсмичность месторождений углеводородов. Нефтегазовое обозрение. 2000: 12с (URL: <http://www.petrobak.com/files/88mh72lvvsfhi6lf.pdf>.)

Поступила 17.07.2021 г.

(Контактная информация: **Нестеренко Максим Юрьевич** – д.г.-м.н., заведующий отделом геоэкологии Оренбургского Федерального исследовательского центра УрО РАН; адрес 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29, тел. 8 (3532) 77-56-70; e-mail: [n\\_mu@mail.ru](mailto:n_mu@mail.ru))

---

---

#### REFERENCES

1. Nesterenko M.Yu. Nesterenko Yu.M., Sokolov A.G. Geodynamic processes in the developed hydrocarbon deposits (on the example of the Southern Urals). Yekaterinburg: ONC UrO RAS, 2015. 186 p.
2. Nesterenko M.Yu., Tsvyak A.V. Monitoring of geodynamic processes in oil and gas producing areas. Ecology and development of society. 2019. No. 2 (29). pp. 39-42.
3. Nesterenko M. Yu., Nesterenko Yu.M. Hydro-geodynamic and geodynamic processes in the platform territories of hydrocarbon production. Modern problems of reservoirs and their catchments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (2019).
4. Kovaleva G.A. et al. Technological scheme of the development of the Baytugan oil field, 2011
5. Borman P. Conversion and comparability of data presentations on seismic background noise. Journal of Seismology, 2, 37-45. 1992 – 2002
6. Malovichko A.A. et al. Assessment and control of natural and man-made seismicity and prediction of seismic hazard for the territory of the Western Urals (stage 4 of work). Report on contract No. 26/99. – Perm, foundations of the Mining Institute Uroran, Perm, 2002 – p. 41,
7. Adushkin V.V., Rodionov V.N., Turuntaev S.B., Yudin A.E. Seismicity in hydrocarbon fields. Oil and gas review, 2000 - p. 7 - <http://www.petrobak.com/files/88mh72lvvsfhi6lf.pdf>.

**Образец ссылки на статью:**

Нестеренко М.Ю. Геодинамический мониторинг территории Байтуганского месторождения нефти и газа. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2021. №3. 13с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2021-3/Articles/NMYu-2021-3.pdf>). DOI: 10.24411/2304-9081-2021-13005