

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИПОЦЕНТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ KNET ПРОГРАММАМИ HYPOCENTER, HYP, HYPOELLIPSE, HYPO71, DBLOC2

© 2022 Е.В. Воронцова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция РАН  
в г. Бишкеке, Бишкек, Киргизия, 720049;  
e-mail: vorontsova@gdirc.ru*

Поступила в редакцию 27.11.2021; после доработки 15.03.2022; принята в печать 27.06.2022

Приведено сравнение результатов определения параметров гипоцентров и времен 4760 сейсмических событий из каталога KNET, составленного на Научной станции Российской академии наук, за период с мая 2003 г. по конец 2020 г. различными программами: Hypocenter, HYP, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2. Наименьшее расхождение координат эпицентров наблюдается для землетрясений, произошедших в пределах области  $41^{\circ}$ – $44.5^{\circ}$  с.ш. и  $73^{\circ}$ – $77.5^{\circ}$  в.д., полностью покрывающей территорию Бишкекского геодинамического полигона. Подобный анализ может использоваться для оценки качества определения времен вступлений сейсмических волн. Наибольшее соответствие наблюдается между программами Hypocenter и HYP: более чем для 95% событий смещение эпицентра не превышает 10 км и изменение времени в очаге составляет менее 0.5 с. Это обосновывает сохранение однородности сейсмологического каталога KNET при переходе с использования Hypocenter к программе HYP в качестве основной программы-локатора.

*Ключевые слова: сейсмический каталог, эпицентр, Hypocenter, локация сейсмических событий.*

При изучении связи сейсмической активности и геодинамических процессов, происходящих в земной коре, а также влияния различных внешних факторов (солнечные вспышки, сильные электромагнитные воздействия, лунно-солнечные приливы и т.д.) на сейсмичность, исследователи используют каталоги сейсмических событий. Это означает, что контроль качества соответствующих каталогов имеет важное значение для получения достоверных научных результатов. Поэтому при смене методов обработки сейсмических данных необходимо убедиться в том, что в результате однородность конечного сейсмического каталога не будет нарушена.

В 1991 г. на территории Кыргызстана была развернута сейсмическая сеть KNET (Kyrgyz..., 1991), состоящая из 10 цифровых станций. По данным KNET на Научной станции РАН в г. Бишкеке (НС РАН) с 1994 года ведется составление сейсмического каталога, который в настоящее время насчитывает более 11500 событий и постоянно пополняется. С мая 2003 г. бюллетень

сейсмических событий KNET поступает в Международный Сейсмологический Центр ISC (International Seismological Centre, 20XX). Структура сети, методы сбора и обработки первичной информации подробно описаны в монографии (Сычева, 2020). Основная работа выполняется в версии 4.2u для Sun OS программного пакета Antelope (Software..., 2002). Предварительное определение параметров гипоцентра осуществляется в программе Dbloc2, входящей в пакет Antelope, по алгоритму лоцирования LocSAT (Bratt, 1991). Результаты этой обработки поступают в ISC. Окончательное лоцирование и вычисление энергетического класса события выполняется в версии 1994 г. для Sun OS программы Hypocenter (Lienert et al., 1986).

В связи с устареванием компьютеров, используемых для обработки, возникла необходимость настроить альтернативный вариант работы с поступающими сейсмическими данными. Наиболее широко распространенными в наши дни бесплатными сейсмологическими программными пакетами являются Seisan (Havskov,

Ottmoller, 1999) и Seiscomp4 (The SeisComP..., 2008).

Выбор программ для локации к настоящему времени тоже претерпел определенные изменения. Вследствие этого модернизация системы обработки данных подразумевает переход на другую программу локации, отличную от используемой в НС РАН программы Нуросcenter. В 1998 г. Нуросcenter была модифицирована и вошла в пакет Seisan под названием НУР. В Seiscomp4 по умолчанию используется локатор LocSAT, в качестве плагинов представлены локаторы НУРО71 (Lee, Lahr, 1972) и NonLinLoc (Lomax et al., 2000). Также есть возможность использования внешней программы для локации. Достаточно широкое распространение получила программа Нуроellipse (Lahr, 1999). Этот локатор с 2001 г. (Ильясов и др., 2003) используется в Институте сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР) для составления каталога KNET (Kyrgyz Digital Network, 2007), который с 2010 г. тоже является частью мирового каталога ISC. Каталог KNET охватывает территорию 39°–44° с.ш. и 69°–81° в.д., насчитывает свыше 80000 сейсмических событий (с 2001 г.) и постоянно пополняется.

Описанные программы-локаторы можно разделить на две группы в зависимости от заложенного в них алгоритма решения обратной сейсмической задачи. Первая группа основана на использовании метода Гейгера (Geiger, 1910). Неизвестное решение представляет собой вектор, содержащий четыре элемента: значения широты, долготы, глубины и времени события. Первое приближение гипоцентра рассчитывается по методу Гейгера так, чтобы минимизировать сумму квадратов невязок времен прихода сейсмических волн, наблюдаемых и рассчитанных на основе заданной скоростной модели. Уточнение решения продолжается до тех пор, пока не будет выполнен набор заданных условий (критериев сходимости) или пока не будет превышен лимит итераций. Описанный алгоритм был реализован в программе НУPOLAYR (Eaton, 1970), дальнейшее развитие и модификации которой привели к появлению локаторов НУРО71, Нуросcenter, НУР и Нуроellipse.

Вторая группа программ, к которой относятся LocSAT и Dbloc2, основана на азимутальном алгоритме лоцирования, впервые реализованном в программе TTAZLOC (Bratt, 1986). Область применения этой программы была больше ориентирована на использование с данными сейсмических групп, позволяющих определять азимут события. В случае отсутствия сейсмических групп начальное приближение эпицентра располагается вблизи сейсмической

станции, первой зафиксировавшей событие. Для этого приближения рассчитываются времена вступления фаз, азимуты и определяются соответствующие невязки. Итерационно ищется решение, при котором будут выполнены заданные критерии сходимости.

Таким образом, на результат решения обратной сейсмической задачи влияют: расположение регистрирующих станций, скоростная модель, используемый алгоритм (с учетом модификаций), настройки различных параметров программы-локатора.

Анализ влияния скоростных моделей на результаты локации событий в программе Нуросcenter по данным сети KNET был выполнен в работе (Сычева, Кузиков, 2012). Лучшая скоростная модель при этом определялась исходя из сравнения среднеквадратичных ошибок времен прихода Р- и S-волн на станции (RMS), ошибок по горизонтали (ERN) и вертикали (ERZ), которые рассчитываются в программе Нуросcenter. Поскольку одним из критериев сходимости обратной сейсмической задачи в Нуросcenter является минимизация параметра RMS (Lienert et al., 1986), то считается, что чем меньше он имеет значение, тем точнее полученное решение. Минимальные значения ERN и ERZ также характеризуют точность решения. Проведенный анализ (Сычева, Кузиков, 2012) показал, что для всех скоростных моделей значения этих параметров для подавляющего большинства событий лежат в пределах:  $RMS \leq 0.6$  с,  $ERN \leq 6$  км,  $ERZ \leq 7$  км, что считается хорошим показателем точности определения положения и времени сейсмических событий.

Основная цель настоящей работы — провести анализ устойчивости определения параметров гипоцентров и времен сейсмических событий различными локаторами по данным сети KNET, то есть оценить, насколько решение обратной сейсмической задачи при одних и тех же исходных данных зависит от использования той или иной программы. Здесь под устойчивостью решения подразумевается, что рассчитанные другой программой локации координаты эпицентра, глубина и время в очаге должны иметь минимальные расхождения в сравнении с соответствующими значениями в каталоге KNET. Такой подход отличается от подхода, приведенного в работе (Сычева, Кузиков, 2012) однако, по мнению автора настоящей работы, он более обоснован по следующим причинам:

- чаще всего при работе с сейсмическими каталогами используются координаты эпицентра, глубина и время события — именно им большее значение уделяют исследователи;
- в различных программах расчет ошибок времени, ошибок по горизонтали и вертикали

реализован по-разному, что затрудняет их сравнение;

– как будет показано, полученные для большинства событий смещения и изменения во времени укладываются в приведенные диапазоны расчетных ошибок для событий из каталога KNET ( $RMS \leq 0.6$  с,  $ERH \leq 6$  км,  $ERZ \leq 7$  км), но при этом имеют более определенный физический смысл.

Вторая цель настоящей работы — это обоснование выбора новой программы для модернизации системы обработки данных сейсмической сети KNET и подтверждение сохранения однородности сейсмологического каталога при ее использовании в качестве основной программы-локатора.

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Сравнение результатов обработки сейсмических событий проводилось для программ Нуросcenter и НУР, Нуроellipse, НУРО71, Dbloc2. Такой выбор был обусловлен следующим:

– НУР выбрана как локатор, являющийся обновленной версией программы Нуросcenter;

– Нуроellipse выбрана с целью сравнить результаты обработки по методике, применяемой в ИС НАН КР, т.к. в случае минимальных расхождений, возможно, было бы логично использование этого локатора для однородности нового каталога и каталога KNET. Настройка параметров программы была аналогична применяемым в ИС НАН КР;

– НУРО71 выбрана как локатор, входящий в состав Seiscomp4;

– Dbloc2 — программа, основанная на азимутальном алгоритме лоцирования, как и локатор LocSAT, входящий в состав Seiscomp4. Как уже упоминалось, результаты лоцирования сейсмических событий в Dbloc2 по данным сети KNET представлены в ISC.

Для анализа использовались параметры 4760 сейсмических событий, обработанных и в Dbloc2, и в Нуросcenter, с имеющимися в наличии абсолютно идентичными «arrival»-файлами (файлы с информацией о времени вступления сейсмических волн).

Настройка параметров программ НУРО71 и НУР была максимально приближена к используемым в настоящее время в ИС РАН параметрам программы Нуросcenter: для одинаковых были оставлены такие же значения, для отличающихся — в НУРО71 использовались значения по умолчанию, а для НУР оптимальные параметры помог подобрать Й. Хавсков (один из авторов сейсмологического пакета Seisan).

При перелоцировании во всех случаях, так же, как и при обработке в Нуросcenter, использова-

лась уточненная скоростная модель земной коры Северного Тянь-Шаня С. Реккера с соавторами (Roecker et al., 1993).

НУРО71, Нуроellipse и НУР используют свои форматы входных данных. Поэтому «arrival»-файлы выбранных событий были конвертированы автором в соответствующие форматы.

В настоящей работе приведено сравнение результатов лоцирования 4760 сейсмических событий за период с мая 2003 г. по конец 2020 г. пятью различными программами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки устойчивости определения параметров гипоцентров и времен сейсмических событий различными локаторами были рассчитаны: расстояние по горизонтали (табл. 1), абсолютная разность глубин (табл. 2) и абсолютная разность по времени (табл. 3) между новым и старым решением из каталога KNET. Для наглядности изменений координат эпицентра сейсмических событий результаты для всех программ-локаторов (красные и зеленые точки) представлены в сравнении с координатами из каталога KNET (черные точки) на рис. 1–4.

Наибольшее совпадение решений наблюдается между программами Нуросcenter и НУР — 3340 (70.17 %) эпицентров сместились не более чем на 2.5 км, не более чем на 10 км — 4681 (98.34 %). События, у которых смещение координат составляет не более 5 км, расположены в пределах области  $41^{\circ}$ – $44.5^{\circ}$  с.ш. и  $73^{\circ}$ – $77.5^{\circ}$  в.д. (рис. 1а), полностью покрывающей территорию Бишкекского геодинамического полигона (БГП) ( $41.5^{\circ}$ – $43.5^{\circ}$  с.ш. и  $73^{\circ}$ – $77^{\circ}$  в.д.). Расхождения на 5–10 км и 10–15 км (рис. 1б, 1в, красные точки) характерны для событий, произошедших на периферии вышеозначенной территории. Изменения свыше 15 км (рис. 1в, зеленые точки) наблюдаются в основном для землетрясений, значительно удаленных от сети KNET, и для трех событий, расположенных на территории БГП. По результатам перелокации другими программами их координаты также значительно сместились. Так, для землетрясения, произошедшего 7 октября 2008 г. в 17:49:44 с эпицентром  $42^{\circ}$  18.97' с.ш.  $73^{\circ}$  31.47' в.д., расстояния до новых решений в трех случаях составили 76.02 км, 83.09 км, 83.37 км, а при обработке НУРО71 — 24.79 км. Однако в этом случае эпицентр переместился вплотную к ближайшей сейсмической станции AML ( $42^{\circ}$  7.87' с.ш.  $73^{\circ}$  41.65' в.д.). Вероятно, такой разброс вызван плохой сходимостью решения обратной задачи для этого землетрясения. И, возможно, в этом и подобных случаях имеет смысл вручную пересмотреть расстановку времен вступления сейсмических волн. Расхождения по

# АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Таблица 1.** Смещение эпицентров событий после переопределения программами НУР, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2

**Table 1.** Displacement of the earthquake epicenters after the relocation using the НУР, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2 programs

| Расстояние, км | Hypocenter-НУР | Hypocenter-Hypoellipse | Hypocenter-HYPO71 | Hypocenter-Dbloc2 |
|----------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 0–2.5          | 3340           | 2994                   | 2835              | 1480              |
| 2.5–5          | 956            | 1010                   | 1031              | 634               |
| 5–10           | 385            | 655                    | 653               | 1406              |
| 10–15          | 52             | 74                     | 97                | 1109              |
| 15–20          | 17             | 12                     | 30                | 100               |
| 20–25          | 2              | 4                      | 19                | 18                |
| >25            | 8              | 11                     | 95                | 13                |

**Таблица 2.** Смещение событий по глубине после перелокации программами НУР, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2

**Table 2.** Displacement of the events by depth after the relocation using the НУР, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2 programs

| Разность по глубине, км | Hypocenter-НУР | Hypocenter-Hypoellipse | Hypocenter-HYPO71 | Hypocenter-Dbloc2 |
|-------------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 0–2.5                   | 3021           | 2614                   | 2863              | 1631              |
| 2.5–5                   | 904            | 940                    | 898               | 1006              |
| 5–7.5                   | 444            | 433                    | 406               | 921               |
| 7.5–10                  | 178            | 310                    | 241               | 522               |
| 10–12.5                 | 90             | 202                    | 150               | 351               |
| 12.5–15                 | 61             | 132                    | 84                | 174               |
| >15                     | 62             | 129                    | 118               | 155               |

**Таблица 3.** Изменение времени событий после переопределения программами НУР, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2

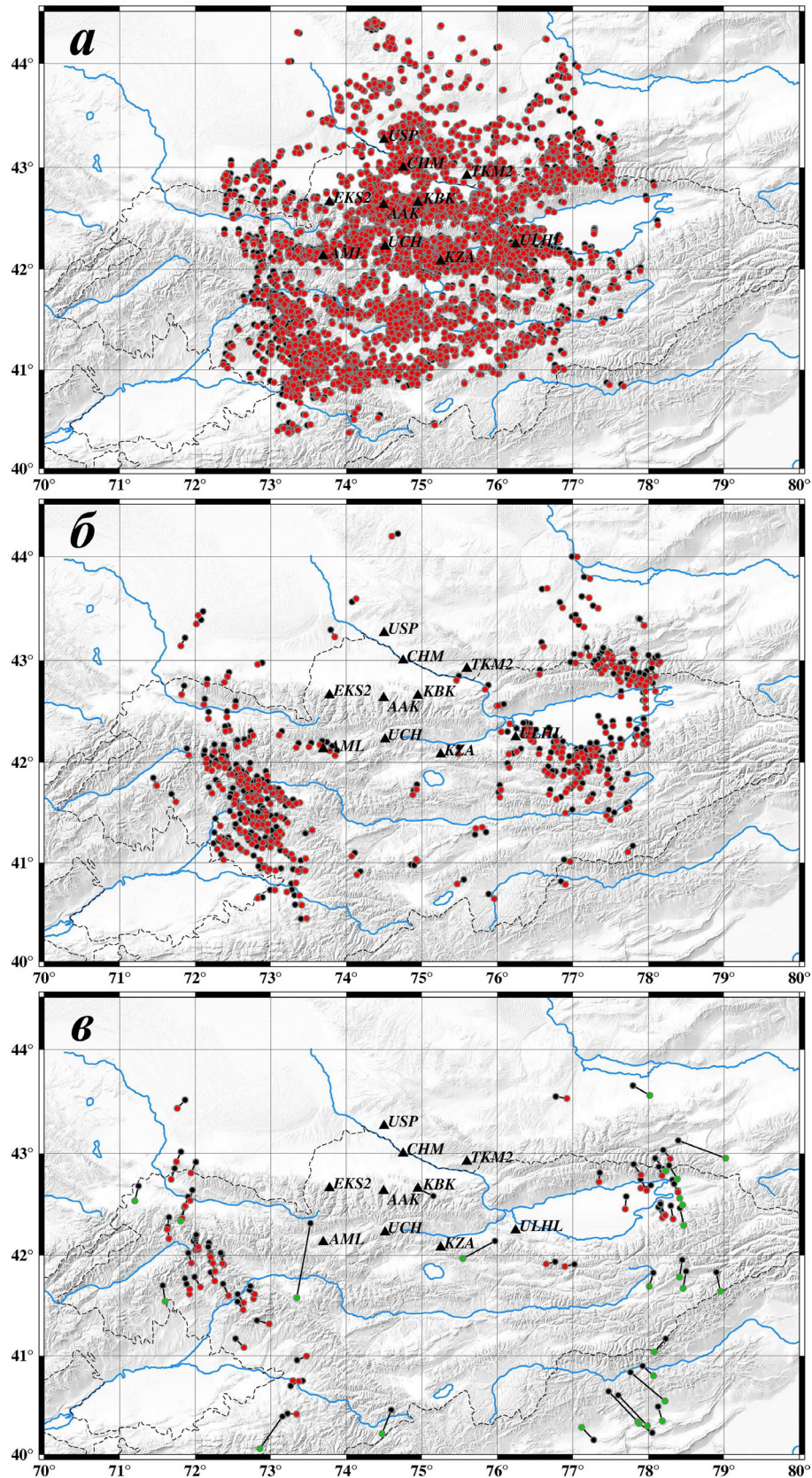
**Table 3.** Time shift of events after the redetermination using the НУР, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2 programs

| Разность по времени, с | Hypocenter-НУР | Hypocenter-Hypoellipse | Hypocenter-HYPO71 | Hypocenter-Dbloc2 |
|------------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 0–0.25                 | 3900           | 3499                   | 2117              | 720               |
| 0.25–0.5               | 730            | 819                    | 1873              | 779               |
| 0.5–1                  | 115            | 357                    | 611               | 1349              |
| 1–2                    | 12             | 76                     | 82                | 1852              |
| 2–3                    | 1              | 5                      | 19                | 58                |
| 3–4                    | 1              | 3                      | 10                | 1                 |
| >4                     | 1              | 1                      | 48                | 1                 |

глубине при обработке в НУР для большинства сейсмических событий (3922 или 82.46%) не превышают 5 км с соответствующими значениями, указанными в каталоге KNET. Следует отметить, что всеми программами значение глубины определяется по наименьшему значению невязки времен пробега волн. Считается (Ильясов и др., 2003), что для более достоверного определения глубины землетрясения необходимо соблюдение следующих условий: эпицентр должен быть окружен станциями в створе азимута не менее 180°, и ближайшая к эпицентру станция должна располагаться не далее 40 км. Этому удовлетворяют лишь 1425 событий, поэтому полученный

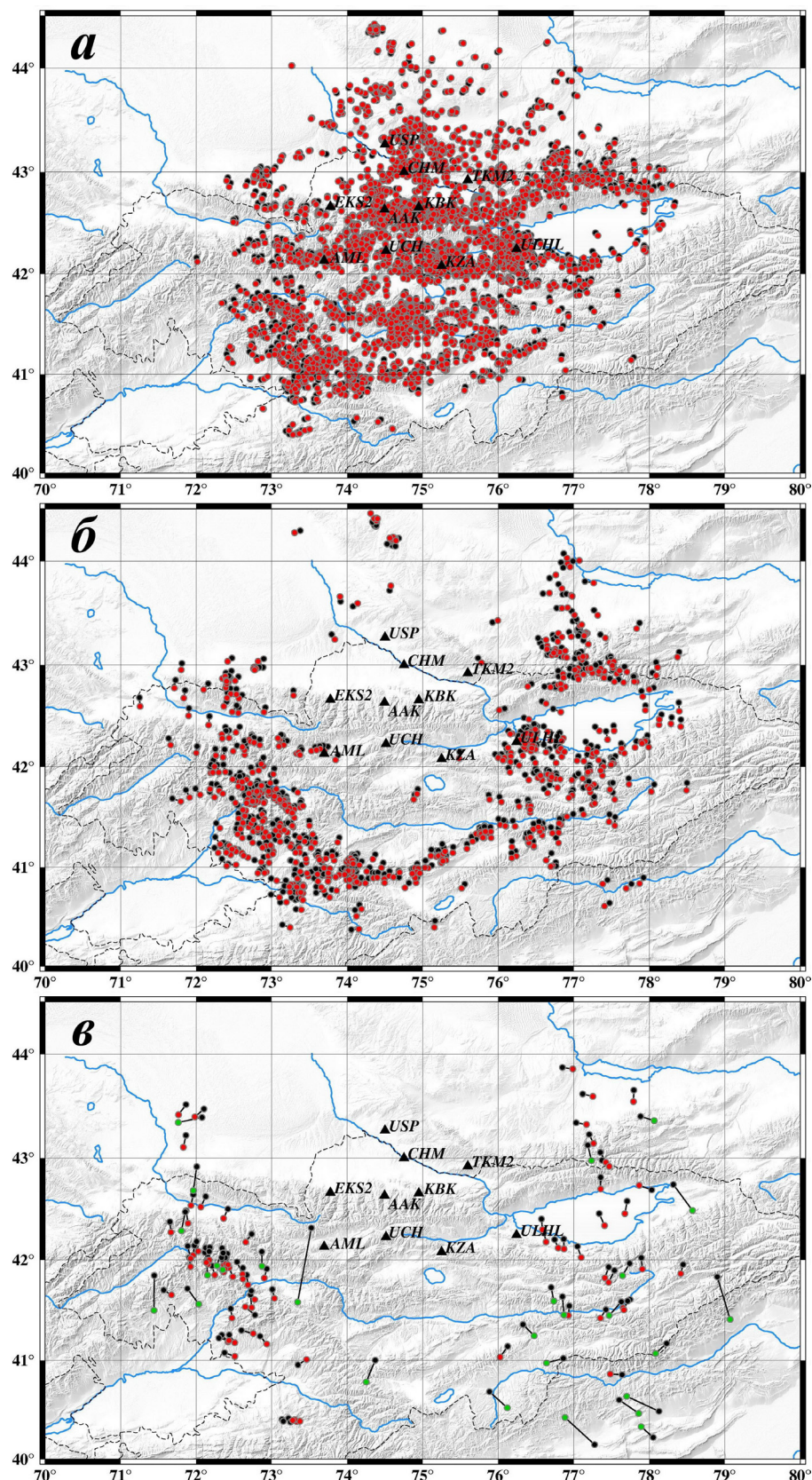
результат для программ Hypocenter и НУР можно считать хорошим соответствием. Изменения времен для 3900 (81.94%) сейсмических событий составляют не более 0.25 с, а для 4630 (97.27 %) — не более 0.5 с.

Смещения координат эпицентров при обработке программой Hypoellipse в целом близки к результатам обработки программой НУР: 2994 (62.91 %) эпицентра сместились не более чем на 2.5 км, не более чем на 10 км — 4659 (97.88 %). Территории, на которых в основном расположены сейсмические события со смещением эпицентров 0–5 км (рис. 2а), 5–10 км (рис. 2б) и свыше 10 км (рис. 2б), соответствуют аналогичным областям,



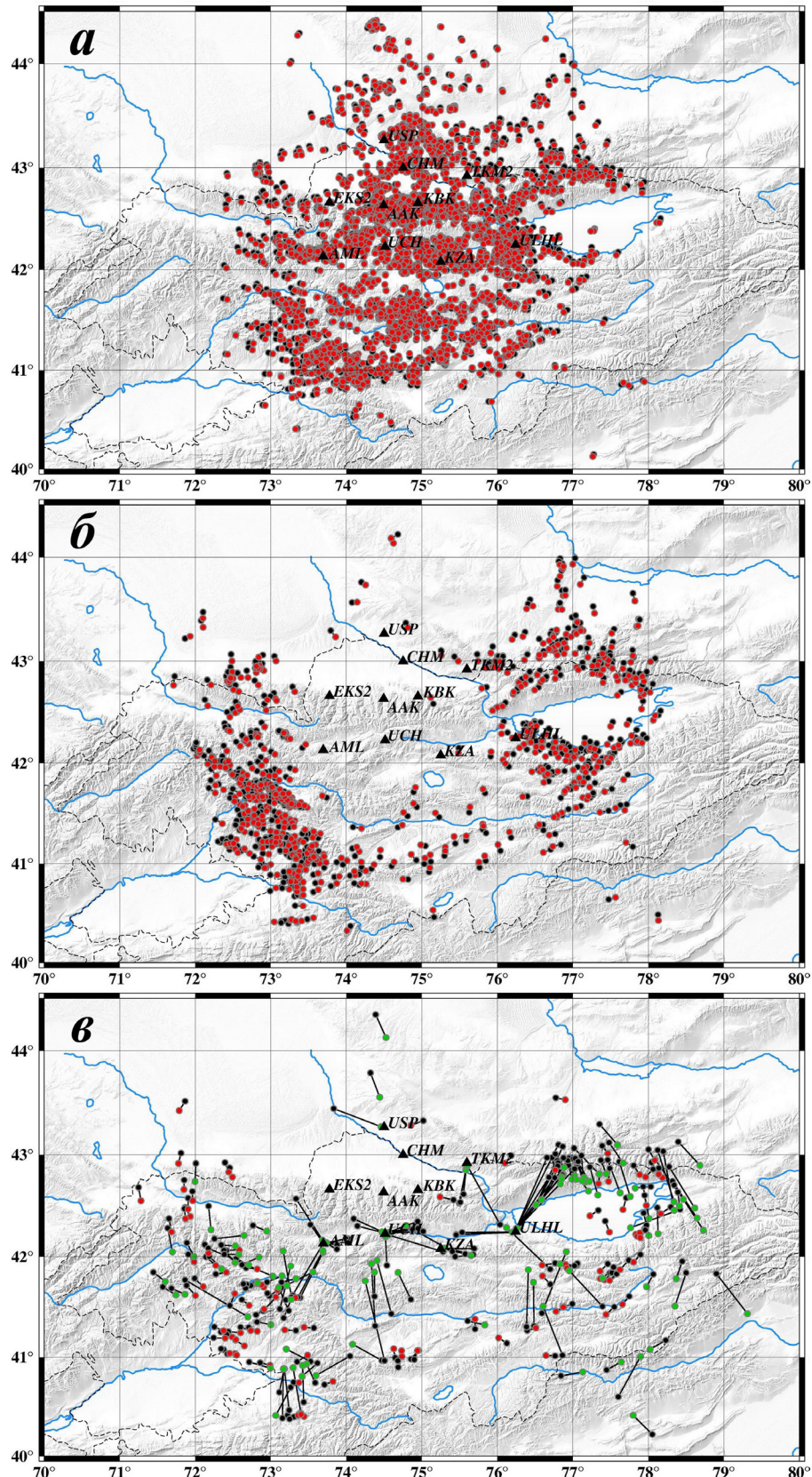
**Рис. 1.** Расхождение эпицентров событий, определенных программами Нуросентер (черные точки) и Нур (красные точки): *a* — 0–5 км; *б* — 5–10 км, *в* — 10–15 км, >15 км (зеленые точки). Черные треугольники — станции сейсмической сети KNET.

**Fig. 1.** Displacement of the epicenters of the events located by Hypocenter (black dots) and Hyp (red dots) programs: *a* — 0–5 km, *б* — 5–10 km, *в* — 10–15 km, > 15 km (green dots). Black triangles are the stations of the KNET seismic network.



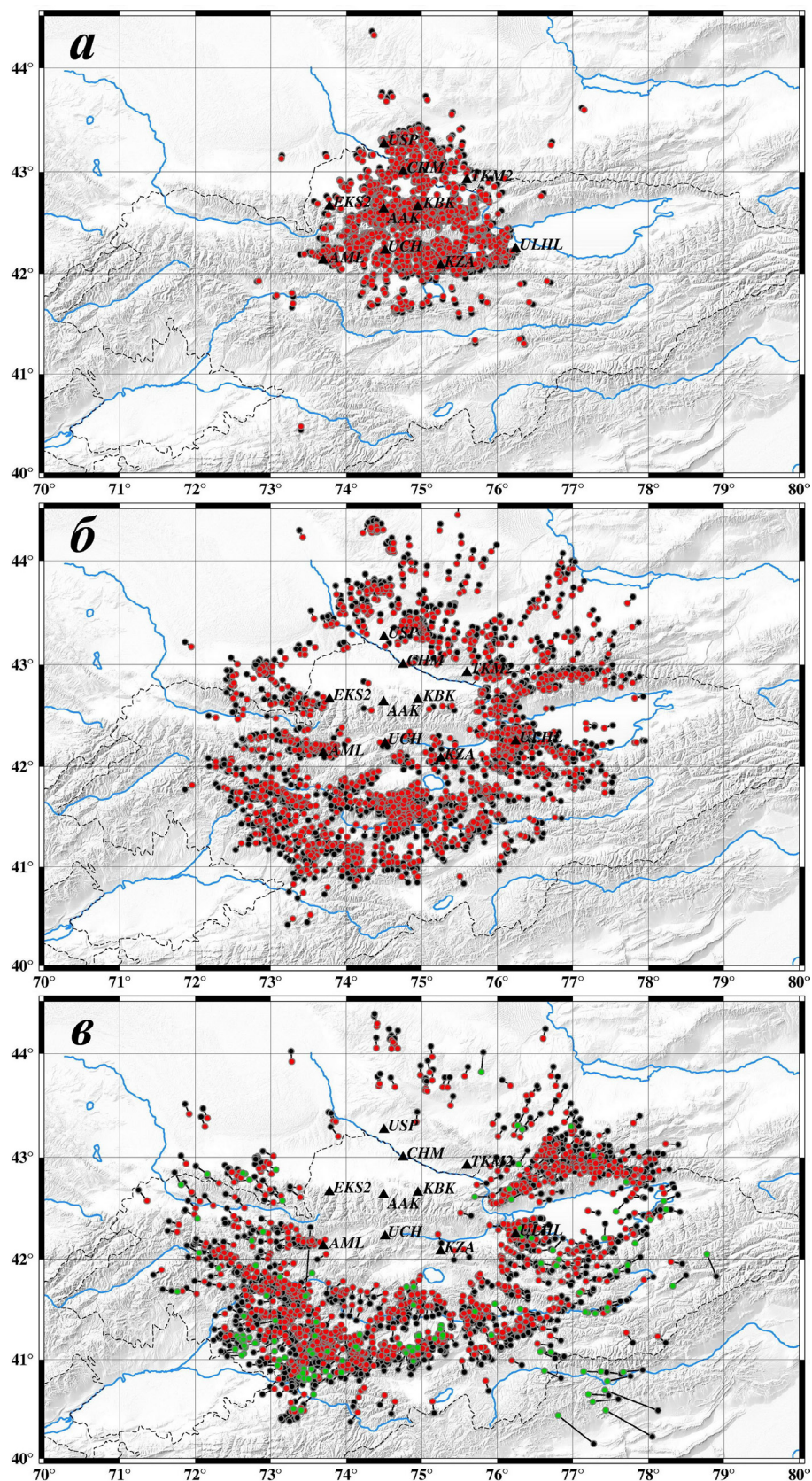
**Рис. 2.** Расхождение эпицентров событий, определенных программами Нипосентер (черные точки) и Нипоэллипсе (красные точки): *а* — 0–5 км; *б* — 5–10 км, *в* — 10–15 км, >15 км (зеленые точки). Черные треугольники — станции сейсмической сети KNET.

**Fig. 2.** Displacement of the epicenters of the events located by Hypocenter (black dots) and Hypoellipse (red dots) programs: *a* — 0–5 km, *б* — 5–10 km, *в* — 10–15 km, >15 km (green dots). Black triangles are the stations of the KNET seismic network.



**Рис. 3.** Расхождение эпицентров событий, определенных программами Нипосентер (черные точки) и НУРО71 (красные точки): *a* — 0–5 км; *б* — 5–10 км; *в* — 10–15 км, >15 км (зеленые точки). Черные треугольники — станции сейсмической сети KNET.

**Fig. 3.** Displacement of the epicenters of the events located by the programs Hypocenter (black dots) and HYPO71 (red dots): *a* — 0–5 km, *б* — 5–10 km, *в* — 10–15 km, >15 km (green dots). Black triangles are stations of the KNET seismic network.



**Рис. 4.** Расхождение эпицентров событий, определенных программами Hypocenter (черные точки) и Dbloc2 (красные точки): *a* — 0–5 км; *б* — 5–10 км, *в* — 10–15 км, >15 км (зеленые точки). Черные треугольники — станции сейсмической сети KNET.

**Fig. 4.** Displacement of the epicenters of the events located by Hypocenter (black dots) and Dbloc2 (red dots) programs: *a* — 0–5 km, *б* — 5–10 km, *в* — 10–15 km, >15 km (green dots). Black triangles are the stations of the KNET seismic network.

показанным при сравнении Hypocenter и НУР. Однако расхождения в глубинах землетрясений и во временах в очаге, полученных Hypoellipse, существенно проигрывают соответствующим изменениям, полученным при обработке в программе НУР (табл. 2, 3).

При перелоцировании событий программой НУР071 расхождения со значениями координат эпицентров из каталога KNET для 59.57% событий составили не более 5 км, для 94.94% — не более 10 км (рис. 3а, 3б). При этом для 95 событий эпицентры сместились более чем на 25 км. Это количество значительно превышает соответствующие значения для других программ (табл. 1). Также обращают на себя внимание 38 землетрясений, для которых рассчитанные с помощью НУР071 новые эпицентры оказались расположенными вплотную к сейсмическим станциям сети KNET (рис. 3в). По-видимому, программа не смогла корректно решить обратную задачу для этих событий. Расхождения по глубине оказались схожи с результатами, полученными при обработке программой Hypoellipse. Однако в этом случае наблюдается значительный разброс во времени сейсмических событий — лишь для 44.49% это значение не превышает 0.25 с, а для 159 событий оно превысило 1 с.

Наибольшее расхождение с данными каталога KNET как по координатам эпицентров, так и по глубине и времени наблюдается для решений, полученных при локации программой Dbloc2. Лишь 2114 событий (44.42%) имеют смещение эпицентра в пределах 0–5 км, 1406 событий — 5–10 км, 1240 событий — свыше 15 км. Как видно из рис. 4а–в, изменение координат эпицентров увеличивается от условного центра 42.5° с.ш. 74.5° в.д. к периферии. При этом смещения 0–5 км преимущественно сосредоточены в пределах области 42°–43.5° с.ш. 73.5°–76.2° в.д., тогда как для других значений смещений выделить определенные зоны трудно. Изменение глубины на 0–5 км наблюдается лишь для 2637 (55.41%) событий, а время в очаге изменилось более чем на 0.5 с. для 3261 события. Такие значительные расхождения, по-видимому, являются следствием того, что азимутальный алгоритм лоцирования существенно отличается от алгоритма Гейгера (Geiger, 1910), используемого в остальных приведенных здесь программах.

## ВЫВОДЫ

В настоящей работе было выполнено сравнение результатов обработки 4760 событий локаторами НУР, Hypoellipse, НУР071, Dbloc2 с соответствующими параметрами гипоцентров, и времен в очаге из каталога KNET. Показано, что для программ с подобным алгоритмом

лоцирования (Hypocenter, НУР, Hypoellipse, НУР071) наблюдаются схожие результаты решения обратной сейсмической задачи: для большинства событий смещение эпицентра не превышает 5 км, смещение по глубине — не более 5 км, расхождение по времени — не более 0.5 с. Наименьшие смещения наблюдаются для землетрясений, произошедших в пределах области 41°–44.5° с.ш. и 73°–77.5° в.д., полностью покрывающей территорию Бишкекского геодинимического полигона (41.5°–43.5° с.ш. и 73°–77° в.д.). Изменения 5–15 км характерны для событий, произошедших на периферии вышеозначенной территории. Смещения эпицентров более чем на 15 км наблюдаются для небольшого количества землетрясений, преимущественно удаленных от станций KNET на значительное расстояние.

Показанная устойчивость параметров гипоцентров сейсмических событий также свидетельствует о хорошей сходимости решений обратной задачи для большинства проанализированных событий. Это, в свою очередь, означает качественно выполненную расстановку времен вступления сейсмических волн. Лишь для трех событий, расположенных в пределах БГП, наблюдаются значительные изменения координат и времени в очаге.

Наилучший результат при сравнении времен в очаге и параметров гипоцентров из каталога KNET и соответствующих пересчитанных параметров сейсмических событий получен при перелоцировании программой НУР. Таким образом, настоящая работа показала, что в будущем, при модернизации системы обработки сейсмологических данных в ИС РАН, является предпочтительным использование программы НУР для сохранения однородности с существующим каталогом KNET.

Результаты, представленные в данной работе, получены в рамках выполнения государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения науки «Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке» по теме АААА-А19-119020190064-9.

## Список литературы [References]

- Ильясов Б.И., Кальметьева З.А., Молдобекова С.К., и др. Каталог землетрясений Кыргызстана в 2002 году. Бишкек: Илим, 2003. 118 с. [Ilyasov B.I., Kalmeteyeva Z.A., Moldobekova S.K. et al. Catalog of earthquakes in Kyrgyzstan in 2002. Bishkek: Ilim, 2003. 118 p. (in Russian)].
- Сычева Н.А., Кузиков С.И. Анализ скоростных моделей литосферы Тянь-Шаня и метод двойных разностей при определении положения гипоцентров землетрясений по данным сейсмологической сети KNET // Геофизические исследования. 2012. Т. 13. № 2. С. 5–22 [Sycheva N.A., Kuzikov S.I. Analysis of velocity model for the Tien-Shan lithosphere and the

- double-difference method for hypocenters location using seismic network KNET data // *Geofizicheskiye issledovaniya*. 2012. V. 13. № 2. P. 5–22 (in Russian)].
- Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Кузиков С.И. Вычислительные технологии в сейсмологических исследованиях (на примере KNET, Северный Тянь-Шань). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2020. 358 с. <https://doi.org/10.30730/978-5-6040621-6-6.2020-2> [Sycheva N.A., Bogomolov L.M., Kuzikov S.I. Computational technologies in seismological research (on the example of KNET, Northern Tien Shan). Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG FEB RAS, 2020. 358 p. (in Russian)].
- Bratt S.R., Bache T.C. Location Estimation Using Regional Array Data // Science Applications International Corporation (SAIC), San Diego. 1986. 69 p.
- Bratt S.R., Nagy W. The LocSAT Program // Science Applications International Corporation (SAIC), San Diego. 1991.
- Eaton J.P. HYPOLAYR, a computer program for determining hypocenters of local earthquakes in an earth consisting of uniform flat layers over a half space // U.S. Geological Survey Open-File Report 69–85. 1970. 153 p.
- Geiger L. Herbsetzung bei Erdbeben aus den Ankunftszeiten // *Mathematisch-Physikalische Klasse. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*. 1910. T. 1910. P. 331–349.
- Havskov J., Ottemoller L. SeisAn Earthquake analysis software // *Seismological Research Letters*. 1999. V. 70. P. 532–534. <https://doi.org/10.1785/gssrl.70.5.532>
- International Seismological Centre (20XX), On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>
- Kyrgyz Digital Network. International Federation of Digital Seismograph Networks / Kyrgyz Institute of Seismology, KIS. 2007. <https://doi.org/10.7914/SN/KR>
- Kyrgyz Seismic Telemetry Network. International Federation of Digital Seismograph Networks / Kyrgyz Institute of Seismology, IVTAN/KIS & University of California, San Diego. 1991. <https://doi.org/10.7914/SN/KN>
- Lahr J. HYPOELLIPSE: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern // U.S. Geological Survey Open-File Report 99–23, version 1.1. 1999. 119 p.
- Lee W., Lahr J. HYPO71: a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes // U.S. Geological Survey Open-File Report 72–224. 1972. <https://doi.org/10.3133/ofr72224>
- Lienert B.R., Berg E., Frazer L.N. Hypocenter: An Earthquake Location Method Using Centered, Scaled, and Adaptively Damped Least Squares // *Bull. Seismological Society of America*. 1986. V. 76. № 3. P. 771–783. <https://doi.org/10.1785/BSSA0760030771>
- Lomax A., Virieux J., Volant P. et al. Probabilistic Earthquake Location in 3D and Layered Models. // *Advances in Seismic Event Location. Modern Approaches in Geophysics*. Springer. 2000. V. 18. P. 101–134. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9536-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9536-0_5)
- Roecker S.W., Sabitova T.M., Vinnik L.P. et al. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien-Shan // *JGR*. 1993. V. 98. № B9. P. 15779–15795. <https://doi.org/10.1029/93JB01560>
- Software Development with Antelope, Revision 1.0 // Boulder Real Time Technologies, USA. 2002. 142 p.
- The SeisCompP seismological software package. GFZ Data Services. // Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH. 2008. <https://doi.org/10.5880/GFZ.2.4.2020.003>

## ANALYSIS OF THE STABILITY OF DETERMINING THE FOCAL PARAMETERS OF SEISMIC EVENTS USING THE KNET NETWORK DATA BY THE PROGRAMS HYPOCENTER, HYP, HYPOELLIPSE, HYPO71, DBLOC2

E.V. Vorontsova

*Research Station of the Russian Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyz Republic*

Received November 27, 2021; revised March 15, 2022; accepted March 27, 2022

Parameters of hypocenters and times of 4760 seismic events taken from KNET catalog compiled by the Research Station of the Russian Academy of Sciences for the period since May 2003 till the end of 2020 have been determined by different programs: Hypocenter, HYP, Hypoellipse, HYPO71, Dbloc2. The smallest divergence of epicenters' coordinates is observed for the earthquakes, which have happened within the area of 41°–44.5°N and 73°–77.5°E entirely covering the territory of Bishkek geodynamic test site. Such an analysis can be used to assess the quality of seismic wave arrival times determination. The best agreement is observed between the programs Hypocenter and HYP: for more than 95% of events the epicenter displacement is less than 10 km and the change of time at origin is less than 0.5 sec. This indicates the preservation of the uniformity of the KNET seismological catalog when switching from using Hypocenter to HYP as the main locator program.

*Keywords: seismic catalog, epicenter, Hypocenter, location of seismic events.*