

УДК 551.2/.3:622.834.53(574)

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-43-59

Разработка схемы геодезического обоснования техногенного геодинамического полигона для определения деформационного состояния земной поверхности в районе расположения испытательных скважин СИЯП

Г. А. Уставич¹✉, А. А. Шоломицкий¹, К. С. Исабекова¹, С. М. Кудеринов¹, М. С. Тутанова¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: ystavich@mail.ru

Аннотация. На Семипалатинском испытательном ядерном полигоне (СИЯП) проводились испытания ядерных зарядов в различных средах: в воздухе, над землей и под землей в скважинах и штольнях. После взрывов наблюдалось проседание и выпучивание поверхности соответственно от $-0,4$ до $+3,9$ м, а иногда имели место ее провалы до $-21,0$ м. Это приводило к образованию трещин, из которых выходил газ, содержащий техногенные радионуклиды, вследствие которого происходило загрязнение тяжелыми металлами прилегающих территорий. В связи с передачей территории в хозяйственное использование важно проводить деформационный мониторинг уровня загрязнения как на полигоне, так и на прилегающей территории. В настоящее время этот мониторинг производится для отдельных скважин высокоточным геометрическим нивелированием II класса. В связи с этим возникла научно-техническая задача разработки схемы построения геодинамического полигона, а также методики ведения деформационного мониторинга на всю территорию расположения испытательных скважин с соблюдением требования – минимального влияния радионуклидного загрязнения на исполнителей. Для решения данной задачи, в зависимости от фактического уровня загрязнения, предлагается схема построения геодинамического полигона, а также методика выполнения инженерно-геодезических измерений на нем с применением спутниковых технологий, полигонометрии, геометрического и тригонометрического нивелирования. Для ведения деформационного мониторинга территории расположения испытательных скважин выполнен предрасчет точности определения высотного положения пунктов сети, который показывает, что величина средней квадратической ошибки (СКО) определения их положения на всей территории испытательной площадки геометрическим и тригонометрическим нивелированием III класса не превышает 4,5 мм.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный ядерный полигон, испытательные скважины, геодинамический полигон, схема построения планово-высотной сети, методика выполнения измерений, спутниковые технологии, полигонометрический и нивелирный ходы, геометрическое и тригонометрическое нивелирование, ошибка измерения превышения

Введение

Радиоактивное загрязнение территории полигона и территорий за его пределами сформировалось в результате выпадений продуктов ядерных взрывов из радиоактивных облаков, которые перемещались в различных направлениях от мест проведения испытаний.

Испытания ядерного оружия в СССР производились на территории Семипалатинского испытательного ядерного полигона, площадь кото-

рого составляет $18\,500$ км² [1]. Общая площадь территории Республики Казахстан (РК), которая была загрязнена вследствие проводимых испытаний на СИЯП, составляет около $304\,000$ км². Всего на полигоне в разных его местах было проведено 456 ядерных испытаний. Испытания ядерных зарядов проводились в различных средах: воздушной, над земной поверхностью и под землей (в «боевых» скважинах и штольнях).

После проведенных в скважинах взрывов над ними наблюдалось оседание земной по-

верхности до $-0,4$ м и ее выпучивание $+3,9$ м, а в скважинах образовывались полости, земля над которыми с течением времени начала проседать [2–4].

В связи с тем, что в настоящее время часть территории СИЯП передается в хозяйственное землепользование, приоритетной задачей является проведение комплексных исследований и разработка мероприятий по безопасному ведению на них хозяйственной деятельности. Примером такой деятельности является разработка угольного месторождения «Каражыра» [5], которое расположено

на территории испытательной площадки «Балапан», где были проведены подземные ядерные взрывы [1, 2, 6] в 106 скважинах (рис. 1). Другим примером является организация пастбищ непосредственно в районах, прилегающих к расположению этих скважин. Особенностью данного месторождения является то обстоятельство, что раньше оно находилось в строго охраняемой зоне, на территории которой в воздухе, на поверхности земли и под землей производились испытания ядерных зарядов и боеприпасов различной мощности.

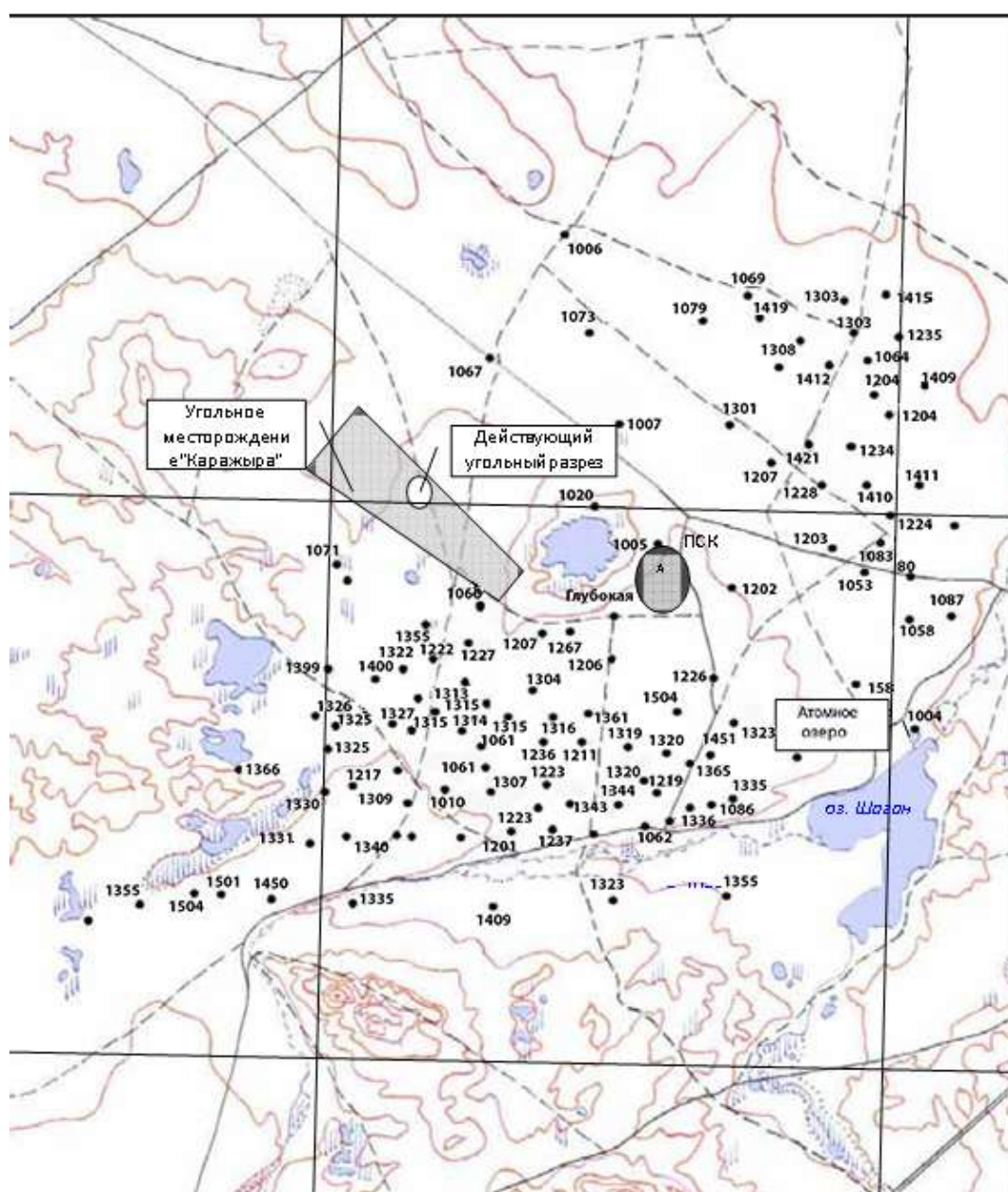


Рис. 1. Схема расположения испытательных скважин на площадке «Балапан», угольного месторождения и «Атомного озера» [2, 6].

Под загрязненными территориями понимается СИЯП, а также другие территории, где проводились испытания ядерного оружия. Учитывая уровень загрязнения законом РК [7], вся территория Семипалатинской области, а также прилегающие к полигону районы Павлодарской, Восточно-Казахстанской и Карагандинской областей, признаны зоной экологического бедствия. Согласно ст. 4 дан-

ного закона, загрязненными территориями считаются те, на которых эквивалентная доза облучения для населения более составляет 0,1 бэр в течение всего периода проведения испытаний.

В зависимости от величины эквивалентной дозы облучения загрязненные территории поделены на зоны радиационного риска, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Классификация загрязненных территорий СИЯП

№	Зоны радиационного риска	Величина допустимой эффективной эквивалентной дозы, бэр
1	Чрезвычайного радиационного риска 1. Долонский сельский округ Бескарагайского района Восточно-Казахстанской области (ВКО). 2. Саржалский сельский округ Абайского района ВКО. 3. Жанасемейский район ВКО. 4. Населенные пункты Сарапан и Иса	Свыше 100 бэр за весь период испытаний
2	Максимального радиационного риска 1. Абайский, Абралинский, Бескарагайский и упраздненный Жанасемейский районы. 2. Акжарский и Малдарский сельские округа Майского района Павлодарской области. 3. Алгабасский, Акбулакский, Айнабулакский, Караоленский и Танатский сельские округа г. Семей ВКО	От 35 до 100 бэр за весь период испытаний
3	Повышенного радиационного риска 1. Аягузский, Бородулихинский, Глубоковский, Жарминский, Шемонаихинский, Уланский районы. 2. Города Семей, Курчатов, Усть-Каменогорск и Риддер ВКО. 3. Каркаралинский район Карагандинской области в пределах территории упраздненного Казыбекбийского района. 4. Майский район Павлодарской области	От 7 до 35 бэр за весь период испытаний
4	Минимального радиационного риска 1. Аксуатский, Алтайский, Урджарский, упраздненные Таскескенский, Кокпектинский, Тарбагатайский и Зайсанский районы ВКО. 2. Каркаралинский район Карагандинской области, не включая территорию упраздненного Казыбекбийского района. 3. Лебяжинский район Павлодарской области	От 0,1 до 7 бэр за весь период испытаний
5	Территория с льготным социально-экономическим статусом Баянаульский район Павлодарской области	Менее 0,1 бэр за весь период испытаний

Район расположения испытательных скважин и прилегающих к нему территорий относится к зоне чрезвычайного радиационного риска [7, 8, 9].

Так как период полураспада техногенных радионуклидов составляет десятки и сотни лет, то зоны радиационного риска также будут оставаться загрязненными еще длительное время, и это будет существенно влиять на хозяйственную деятельность в данных районах. Для определения и прогнозирования изменения уровня загрязнения, а, следовательно, и обеспечения безопасного ведения хозяйственной деятельности, необходимым является проведение различных видов работ, в том числе геодезических.

Инженерно-геодезические наблюдения за деформационным состоянием земной поверхности в местах расположения на разных площадках испытательных скважин, которые начались производиться с начала 1990-х гг. показали [2–4, 10], что и в настоящее время происходит ее перемещение (оседание или поднятие), так как после проведенных взрывов внутри образовались значительные полости и с течением времени происходит их разрушение. В результате этого перемещения происходит выброс в атмосферу газов и воды, загрязненных радионуклидами, которые затем переносятся ветровыми потоками или талыми водами на прилегающие к скважинам земельные участки, тем самым происходит неоднократное повторное их загрязнение. В работах [2, 11] указывается, что после проведения испытания ядерного устройства техногенные деформации земной поверхности в районе скважин проявляются в основном в виде ее поднятия до +3,9 м, а иногда и в виде опускания до –21,0 м, при этом деформации земной поверхности происходили в радиусе от 500 до 1 500 м. Вследствие таких провалов образовывались воронки диаметром до 100–250 м.

Так как ближайшие «боевые» скважины расположены на расстоянии 1,4–6,0 км от границ земельного отвода месторождения «Каражыра» и земельных участков, где производятся сельскохозяйственные работы, то в настоящее время происходит непрерывное их загрязнение. Поэтому для ведения мониторинга со-

стояния этих скважин, наряду с определением уровня их радионуклидного загрязнения, необходимо производить и деформационный мониторинг. Частично такие измерения проводились для отдельных скважин [2–4, 12–14].

Методика этих измерений заключалась в производстве высокоточного геометрического нивелирования II класса по осадочным маркам, заложенным на дне воронки (если отсутствует вода) и по контуру воронок. Измерения выполняются в локальной системе высот относительно одного исходного репера, заложенного на расстоянии 200–250 м от центра воронки. При выполнении нивелирования длина визирного луча не превышала 20,0 м.

Необходимо отметить, что глубина воронок может достигать 30,0 м (минимальная глубина равна 3–4 м, средняя глубина 12–14 м).

В настоящее время деформационный мониторинг земной поверхности в районах расположения испытательных скважин производится с использованием 3–4 грунтовых реперов, заложенных по контуру воронок [3, 4]. Для выполнения нивелирования создается локальная сеть и условная система высот. Вместе с тем авторы этих работ предлагают представлять полученные результаты в Балтийской системе высот. Для этого локальная сеть должна привязываться к реперам государственной сети, которые располагаются вне площадки «Балапан».

Необходимо отметить, что при выполнении нивелирования II класса, с целью соблюдения требований нормативных документов по обеспечению радиационной безопасности, проводятся мероприятия по радиологическому сопровождению работ, которые включают в себя [3, 4]:

- контроль мощности дозы облучения на месте выполнения геодезических измерений;
- контроль уровня индивидуальной дозы облучения исполнителей за время выполнения измерений;
- радиометрический контроль производства работ, включающий в себя контроль загрязнения оборудования, используемого при выполнении измерений;

– деактивацию оборудования и средств индивидуальной защиты после выполнения измерений.

Достоинством данной методики определения деформационного состояния земной поверхности вокруг испытательных скважин геометрическим нивелированием II класса является обеспечение высокой точности измерений. Ее недостатком является необходимость присутствия исполнителей, особенно речника, при выполнении нивелирования в местах с повышенным уровнем загрязнения. Кроме того, учитывая величины деформаций земной поверхности вокруг испытательных скважин, данная точность нивелирования в целом ряде случаев является завышенной.

Второй важной задачей, связанной с хозяйственной деятельностью на СИАП, является сельскохозяйственная деятельность. Геодезической составляющей в этой деятельности является установление границ земельных участков, для чего необходимо создавать плановое обоснование, которое можно осуществить с помощью наземных или спутниковых технологий. В обоих случаях на исполнителей также будет оказывать влияние радионуклидное загрязнение.

С целью ослабления влияния загрязнения на исполнителей при выполнении инженерно-геодезических работ в зоне расположения испытательных скважин авторами предлагается комбинированная схема создания планово-высотного обоснования, которая позволит сократить время выполнения измерений в загрязненной зоне. С использованием данной схемы будет возможно проведение деформационного мониторинга испытательных скважин, а также установление границ земельных участков, в том числе загрязненных техногенными радионуклидами и тяжелыми металлами. Деформационный мониторинг высотного положения скважин и земной поверхности предлагается осуществлять с применением следующих способов измерений:

– геометрического нивелирования II и III классов;

– тригонометрического нивелирования короткими лучами с точностью геометрического нивелирования III класса;

– сочетанием геометрического и тригонометрического нивелирования;

– всеорообразного тригонометрического нивелирования.

В целях определения границ земельных участков могут быть использованы следующие схемы создания планового обоснования:

– с применением наземных или спутниковых технологий;

– совместным использованием наземных и спутниковых технологий.

Разработка такой схемы построения обоснования для создания техногенного геодинимического полигона с целью ведения деформационного мониторинга участков земной поверхности в районах расположения испытательных скважин, в том числе и значительно загрязненных техногенными радионуклидами, а также методики выполнения инженерно-геодезических измерений, позволит определять (прогнозировать) участки с возможным выбросом загрязненных техногенными радионуклидами газов. Применительно к выполнению инженерно-геодезических измерений предлагаемая схема обоснования обеспечит необходимую точность полученных результатов и уменьшит влияние радионуклидного загрязнения на исполнителей.

Материалы, методики измерений и анализ

Прежде чем рассматривать методики выполнения нивелирования, необходимо определить, с какой точностью его выполнять. Проседание (выпучивание) грунта может достигать метровых значений, хотя на данный момент времени для отдельных скважин оно составляет несколько миллиметров [2, 11].

Для объективной оценки деформационного состояния испытательных площадок СИАП, например площадки «Балапан», необходимо создавать на всю ее территорию высотный или планово-высотный геодинимический полигон. Их создание позволит решить следующие основные научно-технические задачи:

- определение деформационного состояния земной поверхности в районе расположения испытательной площадки;

- определение деформационного состояния отдельных испытательных скважин и территории вокруг них;

- прогнозирование динамики перемещения скважин и, как следствие этого, выбросов газа в атмосферу;

- межевание земельных участков и мониторинг изменения границ их загрязнения.

Принятие решения о создании высотного или планово-высотного геодинимического полигона зависит от конкретных задач, поставленных органами исполнительной власти РК, а также от возможного объема финансирования данных работ.

Когда будет поставлена задача определения деформационного состояния территории полигона вместе с испытательными скважинами, потребуются создание только высотного геодинимического полигона. Если же будет поставлена дополнительная задача по обеспечению проведения межевания границ земельных участков, а также сопровождения строительства инженерных сооружений различного назначения, то потребуются создание планово-высотного геодинимического полигона. Необходимо отметить, что нет смысла проводить деформационный мониторинг территории испытательных скважин в горизонтальной плоскости. Это обусловлено тем, что перемещение скважин в горизонтальной плоскости не превышает нескольких миллиметров. Плановые же координаты будут использоваться только для межевания границ земельных участков, а также сопровождения строительства инженерных сооружений.

С учетом сказанного технологическая схема определения деформационного состояния земной поверхности в районе испытательных скважин должна включать в себя:

- схему размещения реперов (осадочных марок) в районе всех скважин, расположенных на территории площадки «Балапан»;

- конструкцию реперов (осадочных марок), которые будут закладываться по линиям нивелирования и вокруг испытательных скважин.

Схема создания высотного геодинимического полигона. В общем случае такая схема сети предполагает для решения различных задач (например, определение движения земной коры, оседание земной поверхности на нефтегазовых месторождениях и промплощадках атомных станций) выполнение высокоточного геометрического нивелирования II класса [15]. В связи с этим схему создания высотного геодинимического полигона целесообразно принять следующей (рис. 2):

- проектирование вблизи расположения испытательных скважин схемы нивелирных ходов II класса;

- закрепление (или использование существующих) исходных реперов нивелирного хода II класса должно производиться за пределами испытательной площадки;

- реперы нивелирных ходов II класса должны располагаться между скважинами и закрепляться на расстоянии не менее чем 250–300 м (в местах, не подверженных влиянию оседания скважин) от них;

- расстояние между реперами целесообразно принять равным 1,5–2,0 км (с учетом количества скважин число реперов II класса должно быть значительно увеличено по сравнению с требованием нормативного документа [15]);

- увеличение числа реперов II класса позволит определять отметки точек в районе расположения скважин с одной или двух станций;

- закладку реперов необходимо производить бурением (с целью уменьшения влияния загрязнения пылью исполнителей) на глубину не менее 2,0 м;

- конструкция реперов, которые будут закладываться по линиям нивелирования, должна соответствовать требованиям инструкции [15];

- на головке репера дополнительно должно быть нанесено перекрестье (для возможности центрирования тахеометра при прокладывании полигонометрического хода).

При выборе мест закрепления реперов необходимо стремиться к тому, чтобы было удобно передавать отметку в район расположения скважин с минимальной затратой времени.

Схема размещения реперов должна производиться вдоль линий нивелирования, между испытательными скважинами. Нивелирные ходы II класса должны прокладываться между реперами согласно требованиям инструкции [15]. В нашем случае длина нивелирного хода будет равна около 18 км.

Так как расстояние между скважинами в среднем равно 1,5–3,0 км, то их можно представлять отдельными секциями в нивелирных ходах. В связи с тем, что хозяйственная деятель-

ность на площадке пока незначительна, то, с целью ускорения работ, а, следовательно, и уменьшения эффективной эквивалентной дозы облучения на исполнителей, целесообразно намечать на местности металлическими штырями места установок нивелира (тахеометра) и реек. В этом случае при выполнении очередного цикла работ будет значительно быстрее выбирать место установки нивелира и реек, а также выполнять измерения на станции, что приведет к меньшему влиянию радиации на исполнителей.

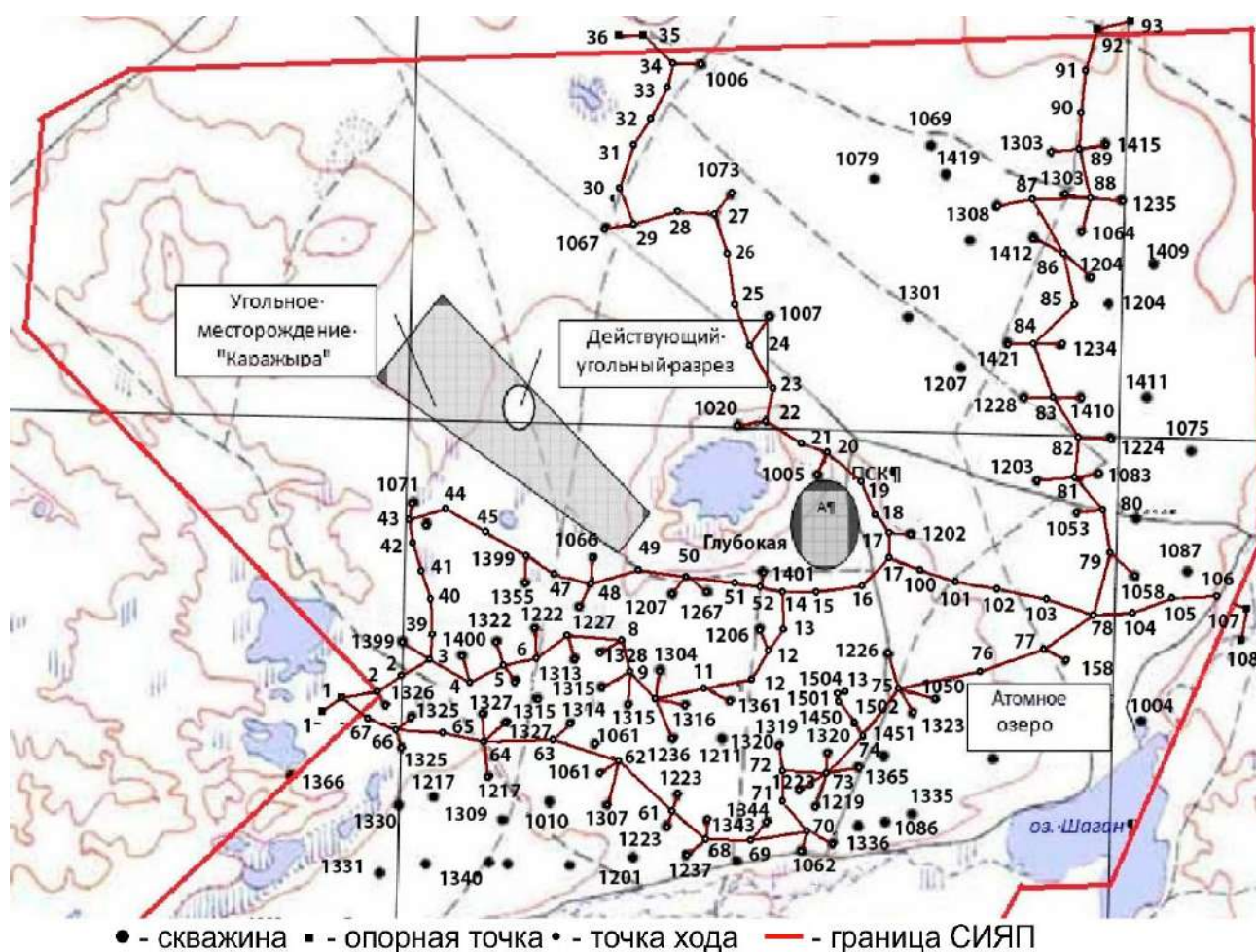


Рис. 2. Схема создания высотного геодинамического полигона

Рассмотрим вопрос установления необходимой точности выполнения нивелирования. При выполнении расчета будем принимать во внимание следующие факты:

– грунтовые реперы в количестве 4–5 штук закладываются по контуру воронок скважин (диаметр воронок равняется 10–250 м) и на расстоянии 20–50 м от них;

– величина перемещения земной поверхности в районе скважин за один год составляет от 4,0–5,0 мм до нескольких дециметров;

– скорость перемещения земной поверхности в районе скважин различная [3, 4];

– не все скважины являются источниками выхода значительного количества загрязненных газов наружу.

С учетом этого нами предлагается следующий подход к обоснованию точности нивелирования:

- для скважин, имеющих минимальный уровень загрязнения и выход газов и величину деформации земной поверхности в пределах 5–10 мм, СКО определения высотных отметок грунтовых реперов должна соответствовать точности нивелирования III класса;

- для скважин, имеющих значительный уровень загрязнения и выход газов, а также величину деформации земной поверхности более 10–20 мм, СКО определения высотных отметок грунтовых реперов может соответствовать точности нивелирования IV класса.

Применительно к условиям выполнения измерений важным моментом является выбор способа нивелирования грунтовых реперов. При отсутствии загрязнения в районе установки грунтовых реперов или минимальном его значении (здесь имеется в виду выполнение измерений без ограничения времени и без защитных костюмов) может использоваться геометрическое нивелирование. Для этого от ближайшего репера II класса при двух горизонтах инструмента прокладывается висячий ход (две-три станции) до наблюдаемой скважины, затем на последней станции нивелир устанавливается на расстоянии 70–80 м от грунтовых реперов, а речник с минимальным набором личных защитных средств может производить на них установку реек.

Если уровень загрязнения в районе расположения скважины повышенный, то, с целью значительного уменьшения облучения исполнителей при выполнении нивелирных работ, предлагается производить деформационный мониторинг земной поверхности (воронок) вокруг испытательных скважин высокоточным тригонометрическим нивелированием. В этом случае методика нивелирования будет комбинированной и будет включать в себя применение:

- геометрического нивелирования при выполнении измерений превышений между скважинами;

- тригонометрического нивелирования при выполнении измерений в районе расположения скважин.

Выполненные исследования [16, 17] показали, что при использовании высокоточных тахеометров уверенно можно получить СКО измерения превышения на станции порядка 0,30–0,50 мм в зависимости от величины расстояний до визирных целей.

С целью исключения нахождения речника в районе испытательных скважин тригонометрическое нивелирование необходимо выполнять путем измерения расстояния в безотражательном режиме. Для этого также на расстоянии 200–250 м от центра воронки закладываются репера, верхняя часть которых выступает над земной поверхностью на 30–50 см, и на верхней их части закрепляется светоотражающая пленка. После этого выполняется тригонометрическое нивелирование «из середины» (или веерообразное тригонометрическое), при этом визирование производится на светоотражающую пленку.

Так как на площадке «Балапан» находится 106 [3–6] испытательных скважин, то с целью уменьшения влияния загрязнения на исполнителей предлагается выполнять деформационный мониторинг сочетанием геометрического и тригонометрического нивелирования. Поэтому авторами предлагается технологическая схема выполнения деформационного мониторинга земной поверхности в районе расположения испытательных скважин сочетанием геометрического и тригонометрического нивелирования.

В этом случае на полигоне также создается высотная сеть II класса. После этого, например, от репера R_{p11} II класса прокладывается висячий нивелирный ход III класса (нивелиром или тахеометром) до ближайшей к скважине точке (временного репера), а затем от нее тахеометром передается отметка на грунтовые репера, расположенные непосредственно возле бровки испытательной скважины, при этом расстояние измеряется в безотражательном режиме. Для контроля полученной отметки измерения можно выполнить с другой точки нивелирного хода.

Так как вокруг бровки скважины находится 3–4 грунтовых репера, то для передачи отметки можно применять также веерообраз-

ное тригонометрическое нивелирование короткими лучами. Для этого перед началом измерений определяется и до 2,0–3,0" исправляется значение места нуля, а сами измерения выполняются при двух положениях вертикального круга.

$$H = -(S_3 \sin \alpha_3 - S_{II} \sin \alpha_{II}) = S_{II} \sin \alpha_{II} - S_3 \sin \alpha_3. \quad (1)$$

Тогда величина ошибки измерения превышения, с учетом влияния основных источников ошибок, будет равна

$$m_h = \sqrt{m_S^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \alpha + m_p^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{вн}}^2 + m_{\text{шт}}^2}, \quad (2)$$

где m_S – СКО измерения наклонного расстояния; m_α – СКО измерения угла наклона; m_p – ошибка, обусловленная наклоном светоотражающей пленки; $m_{\text{виз}}$ – величина ошибки визирования; $m_{\text{вн}}$ – ошибка, вызванная влиянием внешних условий; $m_{\text{шт}}$ – ошибка, вызванная возможным вертикальным перемещением системы «штатив – тахеометр».

Так как наклон светоотражающей пленки будет постоянный в каждом цикле измерений, то влияние данной ошибки исключается.

При угле наклона не более $\alpha = 2-3^\circ$ влияние первого члена в формуле (2) будет незначительным. Тогда, принимая $m_\alpha = 2,0"$, $S = 100$ м, $m_S = 3,0$ мм и $m_{\text{вн}} = 1,0$ мм при одном приеме измерений будем иметь $m_h = 1,40$ мм. Если измерения выполнять двумя приемами, то получим $m_h = 1,00$ мм.

Для веерообразного нивелирования при $m_\alpha = 2,0"$, $S = 150$ м, $m_S = 3,0$ мм при одном приеме измерений будем иметь $m_h = 1,60$ мм.

Данной точности измерения превышения достаточно для определения деформаций земной поверхности, так как ее оседание (провалы) может, как уже указывалось ранее, достигать нескольких дециметров.

Ниже приведены расчеты параметров тригонометрического нивелирования короткими лучами с целью обеспечения заявленной точности измерений.

Превышение H между двумя марками находится по известной формуле

Достоинством данной методики является то, что при ее использовании нет необходимости в присутствии помощника с отражателем (рейкой) непосредственно в районе расположения скважин. Кроме того, с одной установки тахеометра можно выполнить нивелирование всех грунтовых реперов, заложенных вокруг скважины на любой высоте.

Предрасчет точности показывает, что при использовании отметок реперов нивелирного хода II класса и превышений из висячих ходов СКО определения отметок грунтовых реперов скважин будет находиться в пределах 1,8–2,0 мм.

Схема создания плано-высотного геодинимического полигона. Рассмотрим схему создания сети, которая будет использоваться еще и для межевания границ земельных участков, а также сопровождения строительства инженерных сооружений различного назначения. В этом случае дополнительно потребуется определить плановые координаты реперов нивелирного хода, относительно которых затем будут производиться межевание и разбивочные работы на промплощадках по всей территории полигона.

Определение координат x , y реперов II класса можно производить спутниковыми методами и/или путем прокладывания полигонометрических ходов IV класса. С учетом возможности повторного определения высотных отметок реперов высотного геодинимического полигона высокоточным тахеометром с точностью нивелирования III класса це-

лесообразно прокладывание полигонометрического хода. В этом случае при прокладывании полигонометрического хода тахеометр с низкого штатива центрируется над перекрестьем реперов II класса и зрительная труба визируется на отражатели (минипризмы с уровнями), установленные на перекрестьях верха головок смежных реперов. Измерение горизонтальных углов и углов наклона производится двумя приемами с использованием одного или двух отражателей. Если будут использоваться два отражателя, то с целью ис-

ключения ошибки за разность их высот после первого приема они должны меняться местами.

В результате этих измерений будут получены плановые координаты и повторные высотные отметки (из тригонометрического нивелирования) реперов (пунктов) II класса. Выполненный с применением программного обеспечения «МГСети» предрасчет точности показывает, что СКО определения плановых координат реперов будет равна в среднем 12–14 мм (рис. 3), а высотных 3–4 мм.

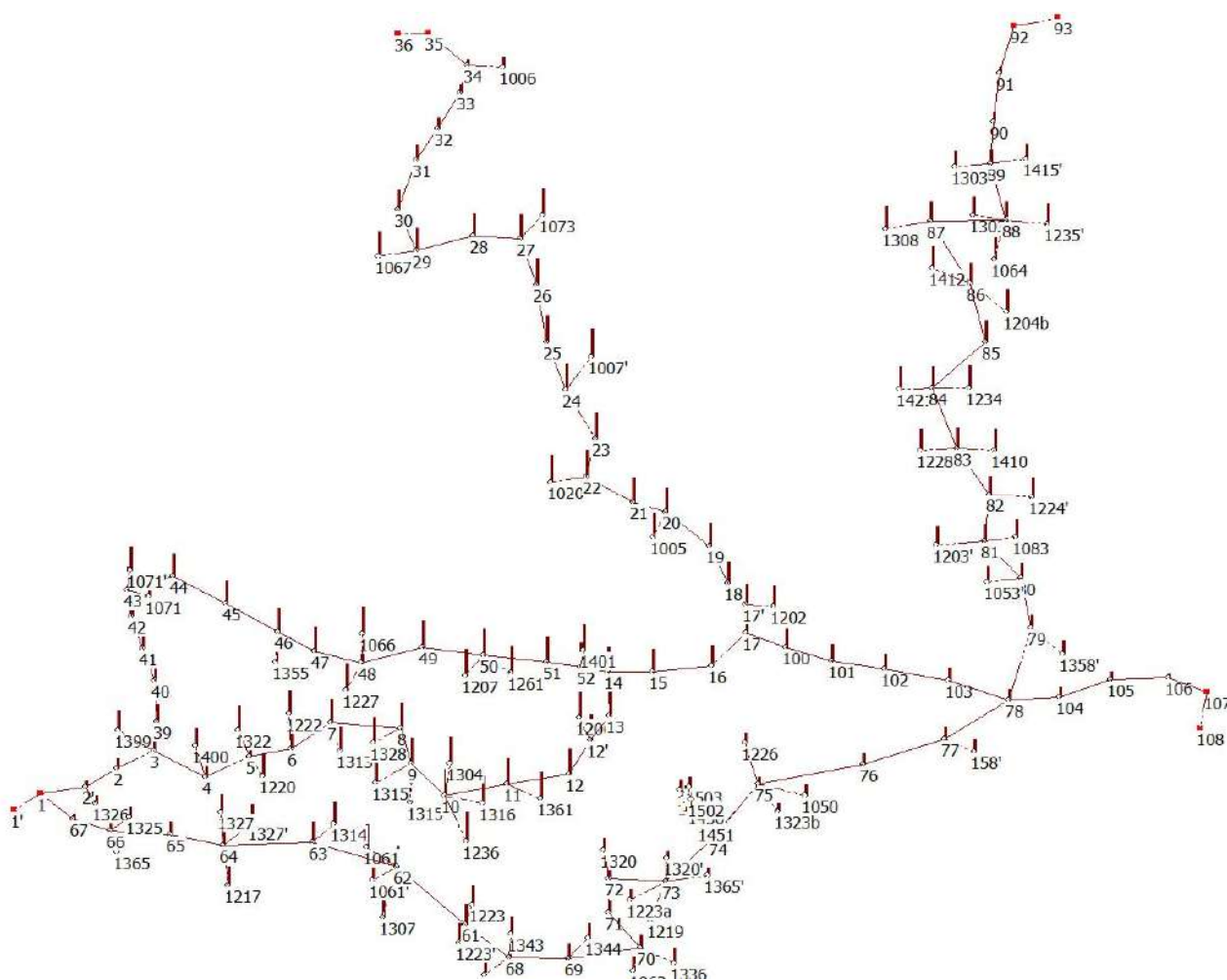


Рис. 3. Поле величин ошибок координат точек полигонометрического хода в плане на территории геодинамического полигона

На рис. 4 показано распределение величин СКО определения высотных отметок пунктов для всей территории, на которой располагаются испытательные скважины.

На рис. 5 показана поверхность определения ошибок отметок грунтовых реперов из тригонометрического нивелирования.

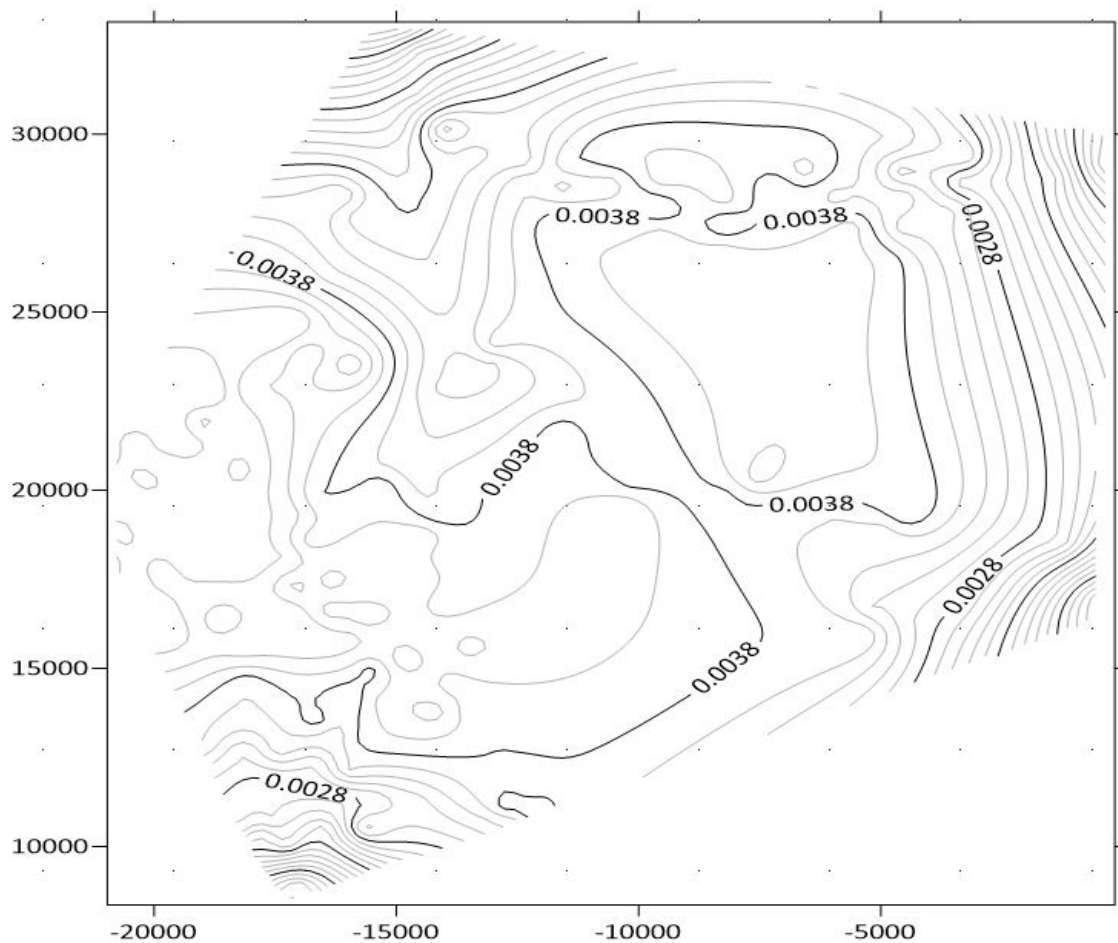


Рис. 4. Схема определения высотных отметок в изолиниях

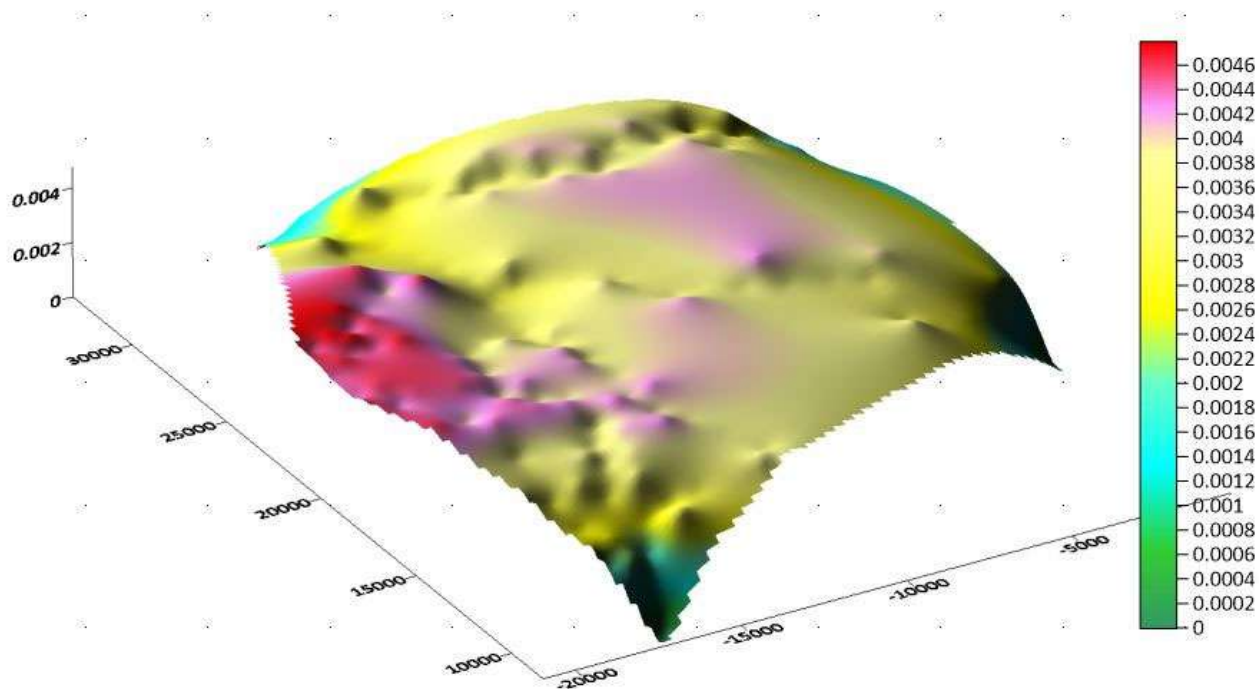


Рис. 5. Поверхность ошибок определения отметок грунтовых реперов из тригонометрического нивелирования

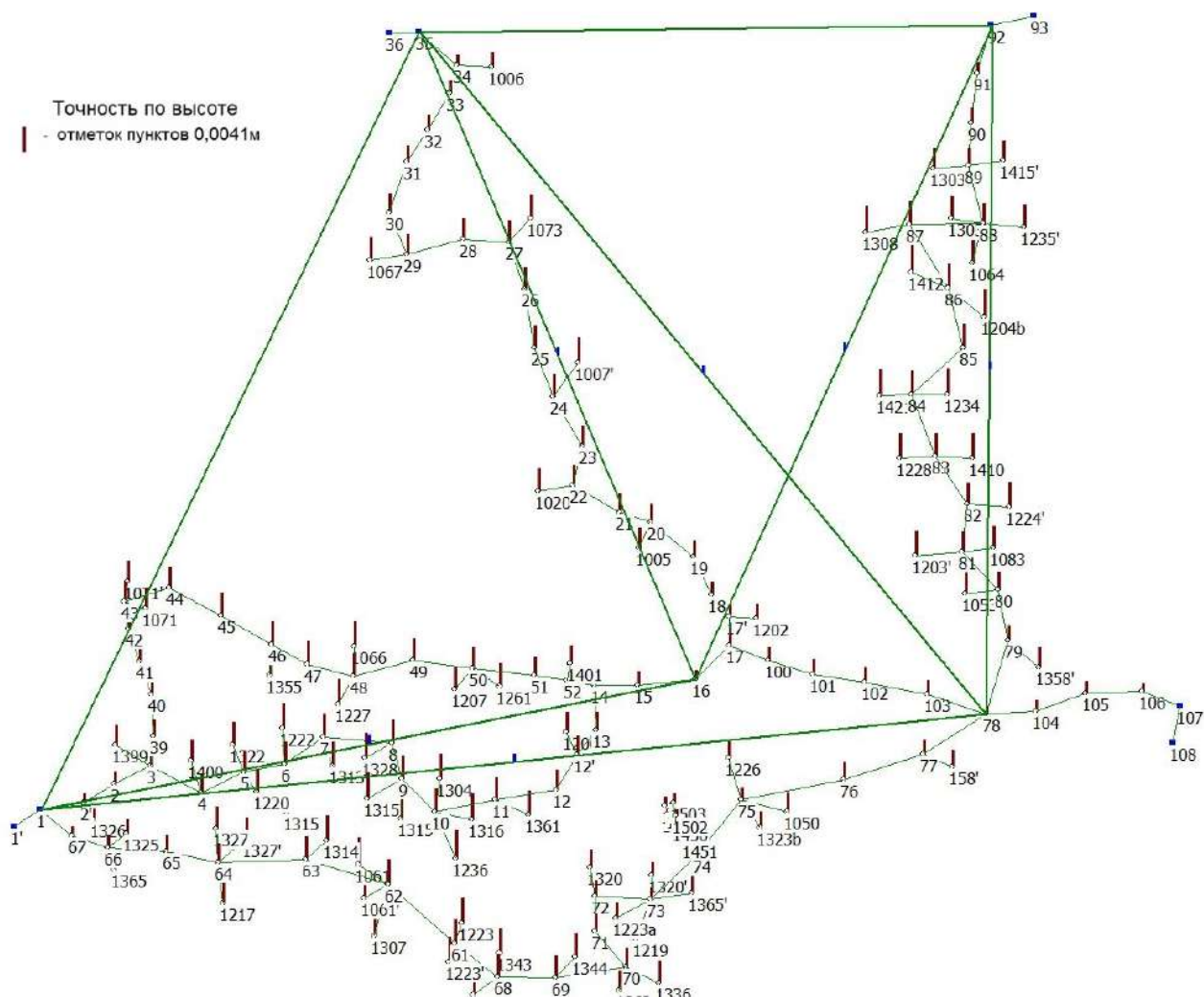


Рис. 7. Предрасчет величин СКО положения пунктов по высоте

Таблица 2

Предрасчет величин СКО для исходных пунктов

Начальная точка	Конечная точка	ΔX (м)	ΔY (м)	ΔZ (м)	m_x (м)	m_y (м)	m_z (м)
1	35	16525,423	8073,076	0,000	0,020	0,020	0,020
35	92	143,297	12154,290	0,000	0,020	0,020	0,020
1	16	2781,330	13942,760	0,063	0,020	0,020	0,020
35	16	-13744,093	5869,684	0,063	0,020	0,020	0,020
92	16	-13887,390	-6284,606	0,063	0,020	0,020	0,020
92	78	-14630,987	-105,868	0,000	0,020	0,020	0,020
35	78	-14487,690	12048,422	0,000	0,020	0,020	0,020
1	78	2037,733	20121,498	0,000	0,020	0,020	0,020

Заклучение

Предлагаемая схема создания на СИЯП техногенного геодинамического полигона позволит определять деформационное состояние ис-

пытательных скважин, что также позволит прогнозировать динамику развития вторичного загрязнения радионуклидами прилегающей территории. Замена геометрического нивелирования тригонометрическим короткими лучами

с измерением расстояний в безотражательном режиме будет способствовать значительному уменьшению влияния радионуклидного загрязнения на исполнителя, а также увеличению скорости выполнения работ с сохранением требуемой точности измерений.

С учетом введения в хозяйственный оборот земель полигона это позволит принимать управленческие решения по рациональному

их использованию с минимальным воздействием на работающее население. Периодичность выполнения измерений будет зависеть от величин деформаций скважин (воронок). В этом случае выполнять измерения необходимо только в районе расположения тех скважин, которые подвержены смещениям, приводящим к появлению трещин и выходу наружу загрязненных газов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукашенко С. Н., Стрильчук Ю. Г., Субботин С. Б. и др. Семипалатинский испытательный полигон. – Курчатова : Дом печати, 2011. – 47 с.
2. Субботин С. Б., Лукашенко С. Н., Генова С. В., Русинова Л. А., Дроздов А. В., Чернова Л. М. Оценка возможностей протекания процессов катастрофического характера на площадке «Балапан». Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана // Сб. тр. Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 гг. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. – 2010. – Вып. 2. – С. 401–448.
3. Яковенко А. М., Богатырев А. О. Семипалатинский испытательный полигон и топографо-геодезические методы изучения мест проведения подземных ядерных взрывов : материалы междунар. конф. «Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных для управления пространственными данными». – Алматы : КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2012. – С. 50–56.
4. Яковенко А. М. К проведению геодезического мониторинга в эпицентральных зонах ранее проведенных подземных ядерных взрывов на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – 239 с.
5. Субботин С. Б., Лукашенко С. Н., Айдарханов А. О. и др. Радиоэкологическое состояние территории угольного месторождения «Каражыра» // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана : сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан. – Курчатова, 2011. – Т. 1, вып. 3. – С. 289–333.
6. Назарбаев Н. А., Школьник В. С., Лукашенко С. Н. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние. – Курчатова, 2016. – Т. 2. – 448 с.
7. О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне [Электронный ресурс] : закон Республики Казахстан от 18.12.1992 №1787-ХІІ. – Режим доступа : https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1001550&show_di=1.
8. СП 2.6.1.2523–09. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Нормы радиационной безопасности (НРБ–99). – Изд. офиц. – М., 2009. – 80 с.
9. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». – Утверждены Постановлением Правительства РК № 202 от 03.02.2012.
10. Уставич Г. А., Яковенко А. М. Деформационный мониторинг дневной поверхности испытательных скважин Семипалатинского испытательного ядерного полигона // Изв. вузов. Геодезия и картография. – 2015. – № 5. – С. 146–151.
11. Субботин С. Б., Стрильчук Ю. Г., Новиков Е. А., Романенко В. В., Пестов Е. Ю., Бахтин Л. В. Современное радиоэкологическое состояние окружающей среды на испытательной площадке СИП «САРЫ–УЗЕНЬ». Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана // Сб. тр. Ин-

ститута радиационной безопасности и экологии за 2011–2012 гг. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. – Т. 1, вып. 4. – 2013. – С. 117–189.

12. Лукашенко С. Н. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. – Павлодар : Дом печати, 2010. – 343 с.

13. Умирбаева А. Б., Омиржанова Ж. Т. Методика ведения геодезического мониторинга за деформациями земной поверхности // Тр. Междунар. конф. «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0» – Алматы : КазННТУ, 2019. – С. 125–128.

14. Нурпеисова М. Б., Бекбасаров Ш. Ш., Умирбаева А. Б. Геодезический мониторинг нарушенных территорий Семипалатинского испытательного полигона // Вестник КазННТУ, 2019. – С. 25–29.

15. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03–010–03.2004. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.

16. Уставич Г. А., Рахымбердина М. Е., Никонов А. В., Бабасов С. А. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.

17. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.

Об авторах

Георгий Афанасьевич Уставич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Андрей Аркадьевич Шоломицкий – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Камила Саниярбековна Исабекова – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Серикбек Мухаметсадыкович Кудеринов – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Мируэрт Серикпаевна Тутанова – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 19.12.2023

© Г. А. Уставич, А. А. Шоломицкий, К. С. Исабекова,
С. М. Кудеринов, М. С. Тутанова, 2024

Development of a geodetic substantiation scheme for a technogenic geodynamic test site to determine the deformation state of the earth's surface in the area where SNTS test wells are located

G. A. Ustavich¹, A. A. Sholomitskii¹, K. S. Issabekova¹, S. M. Kuderinov¹, M. S. Tutanova¹

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: ystavich@mail.ru

Abstract. At the Semipalatinsk Nuclear Test Site (SNTS), tests of nuclear charges were carried out in various environments - in the air, above the ground and underground in boreholes and adits. After the explosions, subsidence and bulging of the surface were observed, respectively, from -0.4 to +3.9 meters, and sometimes there were dips down to -21.0 m. This led to the formation of cracks, from

which gas containing man-made radionuclides escaped, as a result of which heavy metal pollution occurred in the surrounding areas. In connection with the transfer of the territory for economic use, it is important to conduct deformation monitoring of the level of pollution both at the landfill and in the adjacent territory. Currently, this monitoring is carried out for individual wells using high-precision class II geometric leveling. In this regard, the scientific and technical task arose of developing a scheme for constructing a geodynamic test site, as well as a methodology for conducting deformation monitoring over the entire territory of the test wells in compliance with the requirement of minimal influence of radionuclide contamination on the performers. To solve this problem, depending on the actual level of pollution, a scheme for constructing a geodynamic polygon is proposed, as well as a methodology for performing engineering and geodetic measurements on it using satellite technologies, polygonometry, geometric and trigonometric leveling. To conduct deformation monitoring of the territory where test wells are located, a pre-calculation of the accuracy of determining the altitude position of network points was carried out, which shows that the value of the root mean square error (RMS) of determining their position throughout the entire territory of the test site by geometric and trigonometric leveling of class III does not exceed 4.5 mm.

Keywords: Semipalatinsk nuclear test site, test wells, geodynamic test site, scheme for constructing a plan-altitude network, measurement methodology, satellite technologies, polygonometric and leveling moves, geometric and trigonometric leveling, elevation measurement error

REFERENCES

1. Lukashenko, S.N., Strilchuk, Yu.G., Subbotin, S.B. and others. (2011) *Semipalatinskij ispytatel'nyj poligon [Semipalatinsk test site]*. Kurchatov. House of Printing, 47 p [in Russian].
2. Subbotin, S. B., Lukashenko, S. N., Genova, S. V., Rusinova, L. A., Drozdov, A. V., Chernova, L. M. (2010) Assessment of the possibilities of catastrophic processes at the Balapan site. Current issues of radioecology in Kazakhstan. // *Sb. trudov instituta radiacionnoj bezopasnosti i ekologii za 2007–2009 gg. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazahstana [Sat. Proceedings of the Institute of Radiation Safety and Ecology for 2007–2009. Current issues of radioecology in Kazakhstan]*. Issue 2, 401–448 [in Russian].
3. Yakovenko, A. M., Bogatyrev, A. O. (2012) Semipalatinsk test site and topographic and geodetic methods for studying the sites of underground nuclear explosions. *Mater. mezhdunar. konf. «Inovacionnye tekhnologii sbora i obrabotki geoprostranstven-nyh dannyh dlya upravleniya prostranstvennyimi dannymi» [Mater. international conf. “Innovative technologies for collecting and processing geospatial data for spatial data management”]* – Almaty: KazNTU named after K. I. Satpayeva, pp. 50–56 [in Russian].
4. Yakovenko, A.M. (2013) Towards geodetic monitoring in the epicentral zones of previously conducted underground nuclear explosions at the former Semipalatinsk test site // *InterexpoGEO–Sibir' – 2013. IX Mezhdunar. nauch. kongr.: Mezhdunar. nauch. konf. «Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya»: sb. materialov v 3 t. (15–26 aprelya 2013g., Novosibirsk) [InterexpoGEO–Siberia - 2013. IX International. scientific congress, April 15–26, 2013, Novosibirsk: Intern. scientific conf. “Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying”: collection. materials in 3 tons]*. Vol.1. – Novosibirsk: SGGA. – 239 p. [in Russian].
5. Subbotin, S. B., Lukashenko, S. N., Aidarkhanov, A. O. et al. (2011) Radioecological state of the territory of the Karazhyra coal deposit // *Aktual'nye voprosy radioekologii Kazahstana : sb. trudov Nacional'nogo yadernogo centra Respubliki Kazahstan. [Current issues of radioecology of Kazakhstan: collection. proceedings of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan]*. – Kurchatov, Vol. 1, Issue. 3. pp. 289–333 [in Russian].
6. Nazarbayev, N.A., Shkolnik, V.S., Lukashenko, S.N. (2016) *Provedenie kompleksa nauchno–tekhnicheskikh i inzhenernykh работ po privedeniyu byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona v bezopasnoe sostoyanie [Carrying out a complex of scientific, technical and engineering*

work to bring the former Semipalatinsk test site to a safe condition]. – Kurchatov, –Vol. 2. – 448 p. [in Russian].

7. Law of the Republic of Kazakhstan (2022) No. 1787-XII dated December 18, 1992 (as amended on June 27, 2022) [in Russian].

8. SP 2.6.1.2523–09. *State sanitary and epidemiological rules and regulations (2009) Radiation safety standards (NRB-99)*. – Ed. official – M., 2009. – 80 p [in Russian].

9. *Sanitary rules “Sanitary and epidemiological requirements for ensuring radiation safety”* (2012), approved by Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 202 dated 02/03/2012 [in Russian].

10. Ustavich, G.A., Yakovenko, A.M. (2015) Deformation monitoring of the day surface of test wells at the Semipalatinsk nuclear test site // *Izvestiya VUZov. Geodeziya i kartografiya*. [Izvestia VUZov. Geodesy and cartography]. – No. 5. – 146–151 [in Russian].

11. Subbotin, S.B., Strilchuk, Yu.G., Novikov, E.A., Romanenko, V.V., Pestov, E.Yu., Bakhtin, L.V. (2013) Current radioecological state of the environment at the test site of the SARY-UZEN SIP. Current issues of radioecology in Kazakhstan. // *Sb. trudov instituta radiacionnoj bezopasnosti i ekologii za 2011–2012 gg. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazahstana* [Sat. Proceedings of the Institute of Radiation Safety and Ecology for 2011–2012. Current issues of radioecology in Kazakhstan]. Issue 4. Vol. 1. pp. 117–189 [in Russian].

12. Lukashenko, S.N. (2010) *Aktual'nye voprosy radioekologii Kazahstana* [Current issues of radioecology in Kazakhstan]. – Pavlodar. House of Printing, 343 p. [in Russian].

13. Umirbaeva, A.B., Omirzhanova, Zh.T. (2019) Methodology for conducting geodetic monitoring of deformations of the earth's surface // *Trudy mezhdunar. konf. «Racional'noe ispol'zovanie mineral'nogo i tekhnogennogo syr'ya v usloviyah Industrii 4.0»* [Proceedings of the International conference “Rational use of mineral and technogenic raw materials in the conditions of Industry 4.0”] (125–128). Almaty: KazNITU [in Russian].

14. Nurpeisova, M.B., Bekbasarov, Sh.Sh., Umirbaeva, A.B. (2019) Geodetic monitoring of disturbed territories of the Semipalatinsk test site // *Vestnik KazNITU* [Bulletin of the KazNITU], 25–29 [in Russian].

15. Instructions for leveling classes I, II, III and IV. GKINP (GNTA) – 03–010–03.2004. (2004) – M.: TsNIIGAiK. – 226 p. [in Russian].

16. Ustavich, G. A., Rakhymberdina, M. E., Nikonov, A. V., Babasov, S. A. (2013) Development and improvement of technology for engineering geodetic leveling using a trigonometric method // *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography]. 6, 17–22 [in Russian].

17. Nikonov, A. V. (2013) Study of the accuracy of trigonometric leveling using the method from the middle using electronic total stations // *Vestnik SSGA* [Bulletin of the SSGA]. 2 (22), 26–35 [in Russian].

Author details

Georgij A. Ustavich – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Andrei A. Sholomitskii – D. Sc., Professor, Department of Engineering and Mining Geodesy.

Kamila S. Issabekova – Ph. D. Student.

Serikbek M. Kuderinov – Ph. D. Student.

Miruert S. Tutanova – Ph. D. Student.

Received 19.12.2023

© G. A. Ustavich, A. A. Sholomitskii, K. S. Issabekova,
S. M. Kuderinov, M. S. Tutanova, 2024